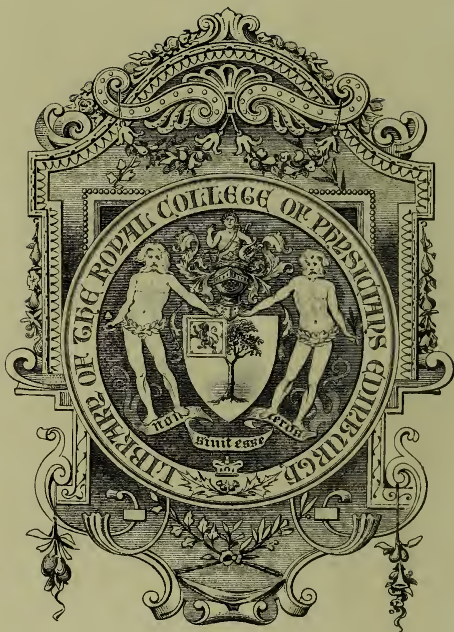
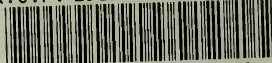

LIBRARY OF THE ROYAL COLLEGE OF PHYSICIANS EDINBURGH
non
sinit esse
feros


R.C.P. EDINBURGH LIBRARY
R27495P0236

Hefen, Schimmelpilze und Bakterien.

Eine Darstellung
der Lebensbedingungen, Eigenschaften und Verwendung der technisch wichtigen Mikroorganismen in der Praxis.

Von

Dr. Wilhelm Bersch.

Mit 53 Abbildungen.



Wien und Leipzig.
A. Hartleben's Verlag.
1910.

K. u. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

Vorwort.

Die Mykologie oder die Lehre von den Formen, Lebensbedingungen und Eigenschaften der niederen Pilze ist eine verhältnismäßig junge Wissenschaft. Trotzdem hat sie binnen kurzer Zeit gewaltige Umwälzungen auf dem Gebiete der Gärungsgewerbe hervorgerufen und die Grundlagen für ihren rationellen Betrieb geschaffen. Die Kenntnis der Eigenschaften und Lebensbedingungen der technisch wichtigen Mikroorganismen besitzt daher heute für jeden Gärungsindustriellen, mag er nun Brenner oder Brauer, Preßhefefabrikant oder Kellerwirt sein, die größte Bedeutung. Denn sie bildet die Basis der rationellen Arbeitsweise, bedingt die Ausbeuten und die Beschaffenheit der Erzeugnisse und ermöglicht es, Betriebsfehler und Verluste zu vermeiden.

Die „Chemisch-technische Bibliothek“ besaß bisher kein Spezialwerk, welches sich ausschließlich mit der technischen Mykologie, vor allem mit der Hefe und ihrer Verwendung in der Praxis befaßte. Ich bin einem Wunsche der Verlagsbuchhandlung, eine solche Monographie zu verfassen, gerne nachgekommen, weil sich im Nachlasse meines als Gärungschemikers und Verfassers der „Gärungschemie für Praktiker“ in früheren Jahren bekannten Vaters zahlreiche Aufzeichnungen fanden, welche mir diese Arbeit wesentlich erleichterten. Sie zu ordnen und zeitgemäß zu ergänzen, einheitlich zusammen-

zustellen und für die Zwecke des Praktikers zu bearbeiten, war eine zwar mühevolle, aber dankbare Aufgabe. Deshalb mögen diese Blätter seinem Andenken gewidmet sein — als einem der ersten, die unmittelbar nach dem Bekanntwerden der bahnbrechenden Arbeiten Pasteurs auf ihre gewaltige Bedeutung für Theorie und Praxis hinwiesen und bestrebt waren, sie auszubauen und den weitesten Kreisen zu vermitteln.

Das vorliegende Buch wendet sich vor allem an den Gärungstechniker, den es mit den mykologischen und chemischen Grundlagen seines Gewerbes bekannt machen will. Die Abschnitte, welche von der Anwendung der Mikroorganismen in den Gärungsgewerben handeln, sollen ferner zeigen, wie die theoretische Forschung die Praxis zu leiten und auszugestalten vermag. Ganz besonders ausführlich ist selbstverständlich die Gewinnung und Benutzung der Reinhefen und die Fabrikation der Preßhefe nach dem Würzelüftungsverfahren erörtert worden, doch mußten naturgemäß auch gewisse Schimmelpilze und Bakterien, die als nützliche oder schädliche Mikroorganismen eine Rolle spielen, besprochen werden.

Es ist mein ausdrücklicher Wunsch, daß dieses Buch für den Praktiker und besonders den Leiter kleinerer Betriebe nicht das einzige gärungstechnische Fachwerk seiner Bibliothek bleiben möge. Ich erblicke vielmehr seine Hauptaufgabe darin, den Praktiker in das große Gebiet einzuführen und ihm das Wesentliche leicht verständlich und ohne besondere Kenntnisse vorauszusetzen, soweit zu vermitteln, daß er dann auch die großen Spezialwerke über die einzelnen Zweige der Gärungsgewerbe mit Nutzen zu studieren vermag. Nur durch Spezialisierung sind volle Erfolge zu erreichen und dazu gehört heute auch das gründlichste Studium der modernen Werke der Autoritäten auf gärungstechnischem Gebiete. Daher sei aus-

drücklich auf die im Texte und in dem „Literaturnachweis“ angeführten Quellen verwiesen.

Jenen Herren, die mich durch Mitteilungen aus der Praxis unterstützten, danke ich herzlich, ebenso jenen Firmen, welche diese Arbeit durch Überlassung von Abbildungen und Beschreibungen ihrer Neuheiten förderten.

Schließlich sei bemerkt, daß sich alle Temperaturangaben ausschließlich auf die Skala des hundertteiligen Thermometers beziehen.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Wird eine zuckerhaltige Flüssigkeit, etwa Traubensaft, bei ungehindertem Luftzutritte sich selbst überlassen, so tritt bald eine auffallende Veränderung ein. Die Flüssigkeit trübt sich, es treten Gasblasen auf, die Oberfläche bedeckt sich mit Schaum und der süße Geschmack verschwindet. Wir sagen, die Flüssigkeit sei in Gärung geraten. Ist sie vorbei, so können wir Zucker in der Flüssigkeit nicht mehr oder doch nur mehr in geringen Mengen nachweisen, dafür ist aber ein neuer Körper entstanden, der Weingeist oder Alkohol.

Doch auch die vergorene Flüssigkeit vermag noch weiteren Veränderungen zu unterliegen, sofern wir kein Mittel anwenden, dies zu verhüten. Bald riecht und schmeckt die Flüssigkeit deutlich sauer und wir vermögen nun einen neuen Körper, die Essigsäure nachzuweisen, während gleichzeitig Alkohol verschwunden ist. Nach einiger Zeit beginnt auch der saure Geschmack und Geruch zurückzutreten, die Flüssigkeit schmeckt dann fade, auch die letzten Reste Alkohol verschwinden, und endlich nimmt die Flüssigkeit einen unangenehmen, widerlichen Geruch an, der auf allgemeine Zersetzung hinweist. Wir sagen, es sei Fäulnis eingetreten.

Es ist klar, daß so verschiedenartige und auffallende Erscheinungen auch verschiedene Ursachen haben werden. Wir wissen heute, daß die geschilderten Umwandlungen das Werk kleiner, dem freien Auge unsichtbarer Organismen sind, die man insgesamt als „Gärungserreger" bezeichnet. Unter „Gärung" verstehen wir dabei ganz allgemein einen durch Mikroorganismen hervorgerufenen Vorgang, der mit stofflichen Veränderungen einhergeht und zumeist mit Gasentwicklung ver-

bunden ist. Diese Gärungsorganismen sind stets und in großer Anzahl in der Luft vorhanden, es bedarf also nur eines günstigen Nährbodens, um sie zur Entwicklung gelangen und ihre Tätigkeit entfalten zu lassen.

Die Eigenschaften, Lebensbedingungen, Vermehrungsarten &c. dieser Organismen sind jedoch durchaus nicht gleich. Wir müssen vielmehr zahlreiche Arten unterscheiden, deren Entwicklung auch mit verschiedenen, aber jeder Art eigentümlichen stofflichen Veränderungen Hand in Hand geht. So bewirkt beispielsweise jene Gruppe, die man als „Hefe" bezeichnet, die Umwandlung des Zuckers in Alkohol, die Hefen sind die Urheber der „geistigen Gärung". Essigbakterien wieder führen den Alkohol in eine neue Verbindung, in Essigsäure über, während die Kahm- und Schimmelpilze die Säure vollständig zu zerstören vermögen. Die Fäulnisorganismen endlich bewirken eine tiefgreifende Veränderung und Zersetzung der organischen Substanz überhaupt, zumeist verbunden mit der Abspaltung höchst widerlich riechender Stoffe, sie besorgen aber schließlich auch die Auflösung organischer Substanzen in einfache chemische Verbindungen, in Kohlensäure, Wasser und einfache stickstoffhaltige Körper, die ihrerseits wieder in den großen Kreislauf der Natur eintreten und wieder zum Aufbaue des Körpers neuer Lebewesen herangezogen werden.

Die Tätigkeit aller dieser Gärungsorganismen läuft auf die Umformung organischer Substanz hinaus. Je nachdem nun diese Umformung in einer für die Zwecke des Menschen tauglichen oder nachteiligen Richtung verläuft, können wir sie als nützlich oder schädlich bezeichnen. Die nützlichen finden heute und zumeist auch schon seit undenklichen Zeiten ausgedehnte Anwendung in den Gärungsgewerben. Die Weinbereitung und die Bierbrauerei, Spiritus- und Preßhefefabrikation, die Darstellung des Essigs durch Gärung, die Brotbereitung und die Käserei, die Darstellung besonderer gegorener Getränke, wie Kefir und Kumys, Yogurt und andere sind Gewerbe, die auf der zielbewußten Anwendung bestimmter Gärungsorganismen beruhen.

Die Eigenschaften dieser Gärungserreger weichen untereinander in vielfacher Beziehung ab. Dies gilt nicht etwa

bloß von verschiedenen Gattungen, beispielsweise von den den Zucker vergärenden Hefen und den den Alkohol zu Essigsäure oxydierenden Essigpilzen, sondern auch von Organismen, die zu einer und derselben engeren Gruppe gehören. So kennt man beispielsweise heute eine große Anzahl solcher Organismen, die nach Bau und Vermehrung, Lebensweise und den damit verbundenen Erscheinungen alle zur Gruppe der Hefen gehören. Vergleicht man jedoch die einzelnen Arten untereinander, so ergibt sich, daß ihre Wirkungen auf zuckerhaltige Medien durchaus nicht gleich sind. Einzelne besitzen beispielsweise ein sehr bedeutendes Gärvermögen, d. h. sie vermehren sich rasch, bringen schnell lebhafte Gärung hervor und vermögen den Gärungsvorgang rasch bis zu Ende zu führen: sie erzeugen in kurzer Zeit viel Alkohol. Andere wieder verhalten sich anders: sie vergären träger, bilden weniger Alkohol, vermehren sich langsamer usf.

Es ist klar, daß sich, je nach dem Zwecke, den man im Auge hat, diese Arten durchaus nicht als gleichwertig für die Zwecke der Praxis erweisen werden. Der Brenner benötigt Hefe mit anderen Eigenschaften als der Hefefabrikant, dieser andere, wie der Brauer oder der Kellerwirt. Während man früher diese Auswahl nur empirisch betrieb oder es ganz dem Zufalle überließ, welche Hefeart in einer zu vergärenden Flüssigkeit die Oberhand gewann, ist dies heute anders geworden.

Durch eingehendes Studium unter Anwendung neuer Verfahren gelang es nicht nur, die Eigenschaften der zahlreichen Arten der Mikroorganismen genau zu erforschen, sondern man war auch in der Lage, Reinkulturen dieser dem freien Auge unsichtbaren Lebewesen anzulegen, die — ausgehend von einem einzigen Individuum — nur Mikroorganismen einer einzigen Art mit ganz bestimmten und bei richtiger Behandlung konstant bleibenden Eigenschaften enthalten. So gelangte man zu bestimmten Rassen von Mikroorganismen, die fortgezüchtet und rein erhalten werden. Daß die Verwendung solcher Reinzuchthefe für die Gärungsgewerbe die größte Bedeutung erlangte, ist klar. Denn dadurch werden nicht nur die erwünschten, nützlichen Lei-

stungen, auf die man hinarbeitet, erzielt, sondern es wird auch das Auftreten anderer, nachteiliger Gärungsorganismen verhindert oder doch unschädlich gemacht. So wurde durch die Erkenntnis dieser Tatsachen, durch das Studium der Eigenschaften der Gärungserreger und durch sachgemäße Auswahl und Fortzüchtung derselben das Gärungsgewerbe auf eine ganz neue Grundlage gestellt, die sich gewaltig von dem früher geübten Vorgange unterscheidet. Heute ist „Hefe" im eigentlichen Sinne des Wortes kein bloßer Sammelname mehr für eine große Zahl verschiedener Individuen mit untereinander sehr abweichenden Eigenschaften, sondern man versteht darunter Reinkulturen mit ganz bestimmtem, wohlbekanntem Verhalten. Demnach unterscheidet man auch die in den Gärungsgewerben verwendeten Hefen voneinander, man spricht von Brauer-, Brenner-, Bäckerhefen usf. Man unterscheidet die oft sehr nachteilig wirkenden „wilden Hefen" von den wertvollen Kulturvarietäten und kann überhaupt sagen, daß die Hefe und viele andere Gärungsorganismen heute Kulturpflanzen im vollsten Sinne des Wortes geworden sind und sich von den wilden Hefen ebenso unterscheiden, wie unsere hochgezüchteten Getreidearten von ihren Stammformen.

Diese gewaltigen Fortschritte, die wir eben in ihren Umrissen schilderten, und die darzustellen eine der Hauptaufgaben dieses Buches sein wird, betreffen aber nicht allein die eigentlichen Hefen, also die Erreger der alkoholischen Gärung. Auch gewisse Bakterien und Schimmelpilze wurden, ihrer besonders wertvollen Eigenschaften wegen, aus der Masse hervorgehoben, veredelt und werden nun vielfach verwendet. Wir erwähnen hier nur das Ferment der Milchsäuregärung, das heute in der Spiritusfabrikation und im Molkereiwesen eine hervorragende Rolle spielt, wir verweisen auf gewisse Schimmelpilze, die in der Käsefabrikation Bedeutung erlangten usf. Aus der Erforschung aller dieser Lebewesen leitete sich so viel Nutzen und Vorteil für die beteiligten Industrien ab, daß gerade die Lehre von den Gärungsorganismen im weitesten Sinne des Wortes ein vortreffliches Beispiel dafür liefert, wie die Forschung zu wissenschaftlichen Zwecken die Praxis zu fördern und auszugestalten vermag.

Alle diese Erkenntnis und die daraus entsprungenen Verbesserungen sind natürlich nicht binnen kurzer Zeit gereift. Es bedurfte der Arbeit unzähliger Forscher, der Aufbietung allen Scharfsinnes, der Erfindung neuen wissenschaftlichen Rüstzeuges, um in die Geheimnisse des Reiches der kleinsten Lebewesen einzudringen. Schritt für Schritt mußte das gewaltige Gebiet erobert werden, wobei es sich in zahlreiche Zweige schied, von denen wir hier nur einen, den der Gärungsgewerbe, besprechen wollen. Denn zu derselben großen Gruppe von Lebewesen, zu den Pilzen, gehören nicht nur die Hefen und die Schimmelpilze, sondern auch die Bakterien, von denen manche als die gefährlichsten Feinde des Menschen aufzutreten vermögen und die Erreger der bösartigsten Infektionskrankheiten sind. Daß sich die Erforschung dieser Gruppe von der hier zu besprechenden schied, weil sie sich naturgemäß in ganz anderen Bahnen bewegen muß, liegt auf der Hand.

Unsere modernen Anschauungen über das Wesen der Gärungsorganismen sind das Ergebnis der Arbeit weniger Jahrzehnte, doch liegen die Anfänge und Anläufe viel weiter zurück. Es ist daher zum Verständnis des auf diesem Gebiete Geleisteten erforderlich, daß wir zunächst einen kurzen historischen Überblick über die Entwicklung der Anschauungen auf dem Gebiete der Gärungsorganismen geben.

---

1. Abschnitt.

Theorien der Gärung.

Wie wir schon erwähnten, wollen wir zunächst unter der Bezeichnung „Gärung“ alle durch Mikroorganismen verursachten stofflichen Veränderungen zusammenfassen. Im engeren Sinne versteht man unter „Gärung“ schlechtweg wohl nur jene Veränderungen, bei denen eine Gasentwicklung auftritt, im engsten Sinne die geistige oder alkoholische Gärung, bei der Alkohol als Hauptprodukt entsteht. Daß gerade diese Erscheinung schon seit altersher bekannt war, ist selbstverständlich. Denn die ältesten Überlieferungen und Aufzeichnungen, die wir besitzen, erwähnen ausnahmslos gegorener Getränke, geben Anleitungen zu ihrer Bereitung und hier haben wir eigentlich die Wurzeln der heute geltenden Anschauungen zu suchen. Denn im wesentlichen laufen diese — natürlich ganz rohen und empirischen — Anleitungen doch nur darauf hinaus, ein Getränk mit besonderen Eigenschaften zu erzielen, mit anderen Worten: unliebsame Gärungsvorgänge zu verhüten.

Die alkoholische Gärung ist eine Erscheinung, die jederzeit mit Leichtigkeit hervorgerufen werden kann. Wir brauchen nur eine zuckerhaltige Flüssigkeit sich selbst zu überlassen, so tritt Gärung ein und dies unter so auffallenden Umständen und Veränderungen, daß sie sich nicht der Beobachtung entziehen konnten. Es fehlte natürlich nicht an Versuchen zur Erklärung dieser Erscheinung, die wir aber um so eher übergehen können, als sie eben nichts anderes waren, als phantastische Deutungen, ähnlich jenen, die wir heute noch bei allen Naturvölkern antreffen. Hier wie dort werden unerklär-

liche Vorgänge auf das Walten geheimer übernatürlicher Kräfte zurückgeführt, die, je nachdem sie sich in einer für den Menschen günstigen oder ungünstigen Richtung äußern, als gute oder böse Geister verehrt werden.

Eine halbwegs planmäßige Untersuchung der Gärungsvorgänge und ihrer Erzeugnisse tritt uns erst bei den Alchimisten entgegen. Die Bestrebungen der alchimistischen Schule werden vielfach mißdeutet, weil man als ihr einziges und ausschließliches Ziel die Auffindung des Steines der Weisen betrachtet. Wenn dies auch vielfach den Tatsachen entsprechen mag, so dürfen wir doch nicht übersehen, daß sich unter den Alchimisten zahlreiche emsige Forscher befanden, die mit den schwachen Hilfsmitteln, die ihnen zu Gebote standen, die Geheimnisse der Natur zu ergründen trachteten. Sie unterzogen zahlreiche Körper, Erscheinungen rc. der Untersuchung und förderten ein reiches Tatsachenmaterial zutage, daß freilich durch Mystizismus und die verschrobene Darstellung jener Zeit ebenfalls mystisch und verschroben erscheint.

Vielfach lief das Streben der Alchimisten darauf hinaus, eine „Reinigung" der Materie zu erzielen, um auf diese Weise zu immer feineren und edleren Stoffen zu gelangen. Auch den Gärungsvorgang faßten sie als einen solchen Prozeß der Reinigung auf, das Unreine, die Hefe, wurde ausgestoßen, die früher trübe Flüssigkeit klärte sich und besaß nun ganz andere Eigenschaften als vorher. Natürlich wurde sie auch des näheren untersucht, und dies führte zwei bekannte Alchimisten, Basilius Valentinus und Raimundus Lullus, zur Entdeckung des Alkohols, den sie durch Destillation aus dem Weine abschieden. Weil er sich als flüchtiger Körper erwies und solchen Substanzen ganz allgemein die Bezeichnung „Geist" gegeben wurde, so nannten sie ihn „Weingeist" (spiritus vini) und lernten auch bald, ihn durch wiederholte Destillation zu rektifizieren. Dazu war meist, weil ihnen natürlich zweckmäßig gebaute Apparate nicht zur Verfügung standen, eine mehrmalige Wiederholung der Operation nötig, sie ward gewöhnlich fünfmal durchgeführt. So gelangte man zur „Quinta essentia", ein Ausdruck, der sich als „Quintessenz" bis auf unsere Tage erhielt und ein besonders verfeinertes und gereinigtes Ding bedeutet.

Irgendeine eingehendere Untersuchung über das Wesen der Gärung, über ihre Ursache und die Natur des „Schaumes“, der sich dabei abschied, war damit natürlich nicht verbunden, selbst der lebhaften Gasentwicklung, die mit der alkoholischen Gärung auftritt, legte man keine Bedeutung bei. Dies geschah erst 1664 durch van Helmont, der die Natur dieser Luftart zwar nicht feststellen konnte, dafür aber erkannte, daß zur Einleitung der Gärung eine Art Samen, ein „Ferment“ nötig sei.

Dieser Ausdruck hat sich bis zur Gegenwart erhalten, allerdings wiederholt seine Bedeutung gewechselt. Ursprünglich verstand man darunter einen „in innerlicher Bewegung befindlichen Körper“, der imstande war, chemische Veränderungen zu veranlassen, und so faßte ihn auch van Helmont auf, dem die wahre Ursache der Gärung natürlich verborgen blieb. Später wendete man die Bezeichnung „Ferment“ ausschließlich nur für Gärungserreger an, beziehungsweise man betrachtete die Fermente als die Urheber aller jener Erscheinungen, die man überhaupt als „Gärung“ bezeichnete.

Dieser Begriff erfuhr aber eine Trübung, als Stoffe bekannt wurden, die ebenfalls einschneidende chemische Veränderungen hervorrufen können, ohne jedoch Lebewesen zu sein oder ihre Substanz und Menge während der Umsetzung zu verändern. Man unterschied demnach zwischen geformten und ungeformten Fermenten, Ausdrücke, die man jedoch fast ganz verlassen hat, auch der Ausdruck „chemische Fermente“ als Gegensatz zu den „organisierten“ ist heute kaum mehr gebräuchlich. An ihrer Stelle spricht man von den Gärungsorganismen (Hefen, Spaltpilzen 2c.) einerseits und den „Enzymen“ anderseits. Allerdings ist auch diese Unterscheidung nicht mehr ganz zutreffend und scharf, weil sich gezeigt hat, daß wohl alle Gärungsorganismen Enzyme abscheiden, welche die eigentliche Ursache der Veränderungen sind.

Valentinus' und Lullus' Anschauung ging noch dahin, der Alkohol sei als solcher in der vergorenen Flüssigkeit schon ursprünglich enthalten gewesen und erst durch die Gärung zum Vorscheine gekommen, daß während der Gärung Veränderungen stattfanden und welcher Natur sie waren, entzog

sich ganz ihren Beobachtungen. Darauf machte erst Ende des 17. Jahrhunderts der Arzt und Chemiker Becher aufmerksam. Er wies nach, daß nur Zucker zu gären vermag, wobei sich Alkohol bilde, die Rolle der Hefe wußte er jedoch auch nicht zu erklären.

Erst bei Stahl, dessen Hauptwirksamkeit in den Beginn des 18. Jahrhunderts fällt, begegnen wir der ersten Theorie über die Gärung, in der auch die Hefe eine Rolle spielte. Nach ihm war sie ein in Bewegung begriffener Körper, der befähigt war, seine Bewegung auf andere in der Flüssigkeit vorhandene Stoffe zu übertragen, „wesfalls die Verknüpfung des gegenwärtigen Zusammenhanges voneinander gerissen, die abgerissenen Teilchen aber durch das stete Reiben verdünnet und in eine neue, und zwar stärkere Verbindung versetzet werden". Irgendwelche weitere Erkenntnis hat diese Theorie allerdings nicht gebracht, doch ist sie vor allem deshalb interessant, weil wir einer ähnlichen Auffassung viel später bei Liebig begegnen, und weil sie, wenn auch mit anderen Worten und im anderen Sinne, auch in unseren gegenwärtigen Anschauungen über das Wesen der Gärung anklingt.

Die Natur des bei der geistigen Gärung auftretenden Gases wurde erst um die Mitte des 18. Jahrhunderts festgestellt und als Kohlensäure erkannt, auch wurde durch Cavendish ermittelt, daß nur die Zuckerarten gärungsfähig seien. Doch fehlte noch immer die Erkenntnis des Zusammenhanges der Erscheinungen, vornehmlich deshalb, weil man immer nur die qualitative Seite des Gärungsvorganges beachtet hatte. Dies darf uns aber um so weniger wunder nehmen, als bis dahin die Chemie überhaupt nur ohne Maß und Zahl betrieben wurde.

Lavoisier (1743 bis 1794) hat darin bahnbrechend gewirkt. Er war der erste, der die chemischen Erscheinungen in größerem Umfange nach ihrer quantitativen Seite verfolgte und sich nicht nur mit der Feststellung der Erscheinungen als solcher, sondern auch mit der Erforschung ihrer Gesetzmäßigkeiten befaßte. Indem er die chemischen Vorgänge mit der Wage verfolgte, die stattfindenden Gewichtsvermehrungen und Verminderungen beachtete, brachte er neues Licht und neue Er-

kenntnis in diesen Wissenszweig, ja er wurde dadurch zum Begründer der modernen Chemie.

So hat Lavoisier auch den Gärungsvorgang untersucht, gefunden, daß der Zucker, der bei der Gärung verschwindet, in Alkohol und Kohlensäure zerlegt wird, und die erste, allerdings nicht ganz zutreffende Gärungsgleichung aufgestellt. Er nahm an, daß eine glatte Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure stattfinde, während später erst Thenard zeigte, daß nur rund 96 Prozent des vergorenen Zuckers als Alkohol und Kohlensäure gespalten werden, während rund 4 Prozent in Form anderer Körper (Glyzerin, Bernsteinsäure, Fuselöl) auftreten.

Lavoisier war zwar nicht der Entdecker, wohl aber einer der eifrigsten Erforscher des damals erst kurze Zeit bekannten Sauerstoffes. Das allgemeine Interesse, das dieses Element erregte, wie nicht minder seine gewaltige Rolle im Haushalte der Natur, die von Lavoisier studiert und erkannt wurde, machen es begreiflich, daß er in seiner Gärungstheorie dem Sauerstoffe einen hervorragenden Platz zuwies. Auch Gay-Lussac, der auf seinen Forschungen weiter baute, kam zu der gleichen Anschauung. Er beobachtete, daß die über einer gärenden Flüssigkeit eingeschlossene Luft schließlich keinen Sauerstoff mehr enthält und folgerte daraus, daß Luft-, beziehungsweise Sauerstoffzutritt zur Einleitung der Gärung unerläßlich sei, allerdings könne der Gärungsvorgang dann, einmal eingeleitet, auch ohne Sauerstoff andauern. Diese Erklärung fand Unterstützung in der damals schon bekannten Tatsache, daß Schwefel ein vorzügliches Mittel zum Einbrennen der Fässer bilde. Seine Wirkung erklärte man allerdings nicht durch die Desinfektionskraft der schwefligen Säure, sondern dadurch, daß sich diese begierig mit Sauerstoff verbindet und dadurch in Schwefelsäure übergeht. Das „Stummmachen" des Mostes durch schweflige Säure wurde daher auf die Entziehung von Sauerstoff zurückgeführt.

Die chemische Seite des Gärungsvorganges wurde natürlich noch weiter verfolgt und manche wichtige Tatsache gefunden. So zeigte Dumas, daß die im Zuckerrohre und in der Zuckerrübe enthaltene Zuckerart, der Rohrzucker selbst nicht zu gären

vermag, daß vielmehr zuvor eine Spaltung in zwei neue Zuckerarten stattfinden müsse. Die bei der Gärung auftretenden Nebenprodukte wurden eingehend untersucht usf., kurz, die chemischen Veränderungen, welche als Erscheinungen der Gärung auftreten, vielfach erforscht — dagegen blieben die rein biologischen Vorgänge gänzlich unbeachtet.

Dies ist um so mehr überraschend, als das Auftreten der Hefe während der Gärung sich der Beobachtung nicht entziehen konnte. Man wußte zwar, daß durch Übertragung der Hefe aus einer vergorenen in eine zuckerhaltige Flüssigkeit diese sehr rasch in Gärung versetzt werden konnte und daß dann die Gärung viel rascher eintrat und schneller verlief, wie wenn man nur die Flüssigkeit offen stehen ließ, aber irgend einen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung vermochte man darin nicht zu erblicken. Allerdings war, ehe auch nach dieser Richtung Licht verbreitet werden konnte, eine andere Erfindung nötig gewesen: die des Mikroskops. Dieses unentbehrliche Instrument, ohne dessen Hilfe die Entwicklung und Ausgestaltung der Lehre von den Gärungsorganismen unmöglich und undenkbar gewesen wäre, verdanken wir dem Holländer Leeuwenhoek, während es nach anderen Angaben von Hans und Zacharias Janssen schon um das Jahr 1600 erfunden wurde. Leeuwenhoek war aber jedenfalls der erste, der sich dieses, damals natürlich noch recht unvollkommenen Gerätes planmäßig bediente und die Welt durch seine Beobachtungen in Erstaunen setzte. Ihm verdanken wir daher die ersten Nachrichten über die unzähligen, dem freien Auge unsichtbaren Vorgänge, welche trotz ihrer Kleinheit doch eine so überaus wichtige Rolle im Haushalte der Natur spielen. Er untersuchte auch zuerst Bier- und Weinhefe, lieferte Abbildungen und Beschreibungen und bezeichnete sie — 1680 — als aus runden Körnchen bestehend. Selbst Bakterien hat Leeuwenhoek beschrieben und abgebildet — von der Bedeutung der von ihm zuerst entdeckten Mikroorganismen hatte er jedoch keine Vorstellung. Ja, auch er verkannte sowohl ihre Natur wie ihre Rolle, denn die Hefezellen sah er als Staubteilchen an, die aus dem Getreide, das zum Brauprozesse verwendet wurde, stammten.

Anders faßte Leeuwenhoek die Bakterien auf, die sich allerdings durch ihre Form auffallend von den kugelförmigen Hefezellen unterschieden. Er betrachtete sie als „Tierchen" und ihr massenhaftes Auftreten, ihre rasche Vermehrung, sowie der Umstand, daß man sie überall fand, wie nicht minder die interessanten Formen der Infusionstierchen, deren erste Beobachtung auch in jene Zeit fiel, regte eine Frage an, die lange Zeit die Gemüter erregte und erst kaum vor einem halben Jahrhunderte endgiltig entschieden wurde. Dies ist die Frage nach der „generatio aequivoca" oder „spontanea" — nach der Urzeugung.

Das oft plötzliche und massenhafte Auftreten solcher Organismen hatte nämlich die Vorstellung erweckt, daß sie ohne sichtbaren Anlaß aus nicht organisierten Stoffen hervorzugehen vermögen. Man griff damit nur auf ältere Vorstellungen zurück, die ja heute, wenn auch zum Teil in anderer Auffassung, in manchen Kreisen noch immer Geltung besitzen. In Laienkreisen ist man noch immer geneigt, überall dort, wo man durch das unvermutete massenhafte Auftreten von Lebewesen überrascht wird, so besonders bei Ungeziefer aller Art, eine Urzeugung anzunehmen. Und da sich Ungeziefer zumeist dort anzusiedeln pflegt, wo Unreinlichkeit herrscht, liegt die Ideenverbindung nahe, daß das Ungeziefer eben aus dem Schmutze oder aus Staub entsteht.

Diese Frage nach der Urzeugung, die, wie wir gleich bemerken wollen, in einer jeden Zweifel ausschließenden Weise dahin beantwortet wurde, daß heute die generatio spontanea nicht mehr beobachtet werden kann, erlangte aber auch nach einer anderen Richtung große Bedeutung. Der Nachweis konnte nur dadurch geführt werden, daß man solche Bedingungen herzustellen suchte, unter denen der Zutritt von Lebewesen zu organischen Stoffen unmöglich wurde und indem man gleichzeitig auch in den organischen Stoffen etwa schon vorhandene Mikroorganismen oder deren Keime vorher tötete. Dies führte zu den ersten Anfängen der Sterilisationstechnik, lehrte aber auch bald, daß auch auf diesem Gebiete nur zu leicht Täuschungen möglich sind. So glaubte z. B. Needham (1745), daß Erhitzung auf Siedetemperatur während kurzer Zeit genüge,

um alle Lebewesen in einem wässerigen Auszuge von Fleisch zu töten. Da sich nach dieser Behandlung und trotz aller sonstigen Vorsichtsmaßregeln doch wieder lebende Infusionstierchen vorfanden, folgerte er daraus die Möglichkeit der Urzeugung. Spallanzani wies dann allerdings nach, daß sich nach anhaltendem Kochen Lebewesen nur dann einzustellen vermögen, wenn wieder Außenluft ungehindert Zutritt fand. Die Frage wurde jedoch damals nicht endgiltig geklärt, weil die Einwendung erhoben wurde, durch die Erhitzung werde eben auch die Luft, die in den Gefäßen eingeschlossen ist, so weit verändert, daß sie dann auch zur Erhaltung des Lebens untauglich sei. Indirekt wurde diese Beobachtung auch durch Gay-Lussac unterstützt, welcher nachwies, daß die über solchen Flüssigkeiten (Fleischbrühe) in geschlossenen Gefäßen enthaltene Luft bald ihres Sauerstoffvorrates beraubt sei, eine Erscheinung, die durch ganz andere Vorgänge verursacht wird.

Erst durch die Forschungen Schulzes und Schwanns wurde ein höchst bemerkenswerter Schritt nach vorwärts in dieser Angelegenheit getan. Beide Forscher erhitzten Lösungen organischer Stoffe in Glasgefäßen während mehrerer Stunden, dann wurde täglich Luft durch die Lösung gesaugt, die bei Schulze konzentrierte Schwefelsäure, bei Schwann ein glühendes Rohr passiert hatte. In beiden Fällen ergab sich die gleiche Tatsache: die Lösung in den Gefäßen zeigte keine Veränderung und es traten keine Lebewesen darin auf. Sie stellten sich jedoch sofort ein, als man Luft, die keiner Vorbehandlung unterzogen war, hinzutreten ließ. Als unumstößlicher Beweis wurde dieses Experiment allerdings auch nicht angesehen, trotzdem hier der Sauerstoffgehalt der Luft keine Beeinträchtigung erfahren hatte. Doch wandte man ein, durch die Berührung mit der Schwefelsäure oder durch die Erhitzung habe die Luft eben die Fähigkeit verloren, sich an der Hervorbringung von Organismen zu beteiligen.

Später schlugen Schroeder und Dusch einen anderen Weg ein. Sie ließen zu der durch anhaltendes Kochen sterilisierten Flüssigkeit nur Luft treten, welche vorher eine Lage Baumwolle passiert hatte. Dadurch wurden alle in der Luft

schwebenden Mikroorganismen zurückgehalten und in der Flüssigkeit zeigten sich keine Lebewesen. Auch hier hatte also zum ersten Male ein Vorgang Anwendung gefunden, der heute ein unentbehrliches Mittel bildet, um keimfreie Luft zu gewinnen.

Besondere Ausbildung erfuhr die Sterilisationstechnik jedoch durch die Untersuchungen von Pasteur (1818 bis 1895), der dadurch auch das Märchen von der Urzeugung endgiltig zerstörte. Wir können hier nicht auf die genialen Verfahren des französischen Forschers eingehen, sondern wollen nur erwähnen, daß er das Experiment nicht nur in einer jeden Zweifel ausschließenden Art durchführte, sondern auch den Gegenbeweis in folgender Art erbrachte. Zur Filtration der Luft benutzte er nicht gewöhnlich Baumwolle, sondern Schießbaumwolle, die in einem Gemenge von Alkohol und Äther löslich ist. Er löste solche Schießbaumwolle, durch die vorher Luft filtriert worden war, auf, und nun zeigte sich, daß sie die gleichen Mikroorganismen zurückgehalten hatte, die sich in gärenden und faulenden Flüssigkeiten vorfanden.

Damit war aber auch die Grundlage zu einer neuen Theorie über die Gärung gelegt worden, die, weil sie auf der Tatsache fußte, daß die Gärung durch Lebewesen hervorgerufen wird, die vitalistische Gärungstheorie heißt. Sie stand zunächst allerdings in scharfem Gegensatze zu der rein chemischen Auffassung, die ihren bedeutendsten Verfechter in Liebig hatte.

Liebig faßte die Hefe durchaus nicht als eine lebende, in steter Vermehrung begriffene Anhäufung von Organismen, sondern als eine in Zersetzung begriffene Substanz auf, der er — trotz der Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchungen — das „Leben" absprach. Diese Zersetzung sollte nun mit einer chemischen Bewegung verknüpft sein, die sich ihrerseits auf den Zucker oder die sonstigen, einer Veränderung unterliegenden Substanzen übertrug, wodurch auch sie in die Zersetzung einbezogen wurden. Alkohol und Kohlensäure waren demnach nur Zersetzungsprodukte des Zuckers, gewissermaßen durch eine mechanische Zertrümmerung der Moleküle entstanden.

Diese Auffassung wird erklärlich und leichter verständlich,

wenn wir uns die Epoche der Chemie, in der Liebigs Wirken begann, vergegenwärtigen. Damals stand die Scheidewand zwischen anorganischer und organischer Chemie noch unverändert aufrecht. Man war überzeugt, daß organische Stoffe nur von lebenden Organismen hervorgebracht werden können und nahm zur Erklärung dieser Erscheinung eine Lebenskraft an, unter deren Einfluß und Mithilfe sich solche Vorgänge vollzogen. Zu Beginn der Zwanzigerjahre des 19. Jahrhunderts gelang es jedoch, diese Anschauung zu widerlegen, indem Wöhler zeigte, daß sich ein Körper, der sich nur im innigsten Zusammenhange mit Lebensvorgängen bildete, der Harnstoff, auch im Laboratorium aus anorganischen Stoffen darstellen ließ. Durch diese erste „Synthese" war die Trennungswand zwischen anorganischer und organischer Chemie durchbrochen, um so mehr, als es bald darauf gelang, zahlreiche andere Stoffe organischer Natur in ähnlicher Weise zu erhalten.

Dies führte naturgemäß zu einer rein chemischen Auffassung aller Erscheinungen. Chemische Kräfte — so wurde angenommen — sind überall im Spiele und ihnen müsse es daher auch möglich sein, alle Wirkungen hervorzubringen. Es ist erklärlich, daß man damit auch die Gärungserscheinungen in ursächlichen Zusammenhang brachte. Ebensowenig wie Lebewesen bei der Herstellung des Harnstoffes im Laboratorium mitgewirkt hatten, glaubte man dies auch bei den Gärungsvorgängen annehmen zu müssen. Bis zu seinem Tode hat Liebig mit der ihm in vielen Dingen eigenen Zähigkeit an dieser Anschauung festgehalten, wenn er sich auch zu kleinen Konzessionen an die vitalistische Auffassung bereit erklären mußte. Zum Teil wurde ihm allerdings später — worauf wir noch zu sprechen kommen werden — Recht gegeben, freilich in anderer Weise, als seine rein chemische Gärungstheorie annahm.

Pasteurs vitalistische Auffassung der Gärungsvorgänge ist allerdings auch nicht aufrecht geblieben. Zunächst wollen wir jedoch die Entwicklung der Anschauungen über die Natur und die Rolle der Hefe betrachten.

Leeuwenhoeks Beobachtungen stammten aus dem Ende des 17. Jahrhunderts, erst zu Beginn des 19. wurde allem

Anscheine nach wieder auf diesem Gebiete gearbeitet. Ein Österreicher, Erxleben, sprach 1818 die Vermutung aus, „daß die Gärung keineswegs eine bloße chemische Operation zu seyn scheint, sondern vielmehr zum Theil als ein Vegetationsprozeß und als das Glied in der großen Kette in der Natur zu betrachten sein dürfte, welches die Wirkungen, die wir chemische Prozesse nennen, mit der Vegetation in Verbindung setzt". Den Nachweis, daß es sich tatsächlich so verhält, erbrachten jedoch erst zwei Jahrzehnte später fast gleichzeitig drei Forscher: Cagniard-Latour, Schwann und Kützing.

Cagniard-Latour erkannte zuerst die Zugehörigkeit der Hefe zum Pflanzenreiche und beobachtete das Verhalten der Hefe in gärenden Flüssigkeiten und ihre Vermehrung und folgerte ganz richtig, daß mit den Lebensäußerungen der Hefe auch die Zerlegung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure im Zusammenhange steht. Schwann unterwarf die Hefe ebenfalls eingehenden Studien unter Verwendung des Mikroskops, er lieferte schöne Beschreibungen ihrer Vermehrung und stellte auch fest, daß sie nicht durch solche Gifte vernichtet wird, welche Infusorien töten, wohl aber durch Stoffe, welche von Schimmelpilzen nicht vertragen werden. Daraus folgerte er, die Hefe sei eine Pflanze, auf seine Veranlassung wurde sie von Meyen des näheren untersucht und ihr, ihrer nahen Verwandtschaft mit manchen gegliederten Pilzen wegen, der Name „Zuckerpilz" — Saccharomyces — gegeben.

Kützings Forschungen sind nicht nur dadurch bemerkenswert, daß er zu den gleichen Schlußfolgerungen gelangte wie Cagniard-Latour und Schwann, sondern daß er nicht nur die Hefe, sondern auch den Erreger der sauren Gärung, die Essigmutter, in den Kreis seiner Betrachtungen zog. So festigte sich die Anschauung, daß sowohl die alkoholische wie die saure Gärung mit dem Auftreten bestimmter pflanzlicher Lebewesen im ursächlichsten Zusammenhange stand, und dadurch wurden auch die Grundlagen für die später von Pasteur so glanzvoll ausgebaute vitalistische Gärungstheorie gegeben. Noch war aber mancher Schritt nötig, um die Lehre von den Gärungsvorgängen so weit auszugestalten, wie es heute der Fall

ist. Pasteurs unvergängliches Verdienst ist es, hierin als Bahnbrecher aufgetreten zu sein.

So wurde lange Zeit an der Anschauung festgehalten, daß sich bei der Gärung der Zucker glatt in Alkohol und Kohlensäure spaltet. Daß dies nicht zutrifft, daß vielmehr die verschwundene Zuckermenge stets größer ist, als der entstandenen Menge Alkohol und Kohlensäure entspricht, war schon früher erkannt worden. Pasteur zeigte dann, daß dieses Plus an Zucker von der Hefe nicht nur zum Aufbaue neuer Individuen benutzt wird, sondern daß sich gleichzeitig auch andere Gärungsprodukte — Glyzerin, Bernsteinsäure und Fuselöle — bilden. Er befaßte sich aber auch sehr eingehend mit den Stoffen, welche die Hefe zur Ernährung benötigt, zeigte, daß Eiweißkörper überhaupt nicht vorhanden sein müssen, und erbrachte den Nachweis, daß auch in Flüssigkeiten, die außer Zucker nur Ammonsalze (weinsaures Ammon) und einige anorganische Salze enthalten, ganz normale Gärung eintreten kann, allerdings nur dann, wenn größere Hefenmengen zugegen sind.

Pasteurs Forschungen erstreckten sich jedoch nicht ausschließlich auf die Hefe. Er bestätigte zunächst die von Kützing aufgestellte Lehre von der Essiggärung unter Beteiligung von Mikroorganismen und untersuchte andere, in manchem Sinne ähnliche Gärungsvorgänge näher, so besonders die Zersetzung des milchsauren Kalkes, wobei sich Buttersäure bildet. Dies führte ihn zu der Wahrnehmung, daß der Organismus, welcher die Buttersäuregärung hervorruft, der Buttersäurepilz, befähigt ist, ohne Zutritt von Luft zu leben. Er verfolgte diese in mehr als einer Hinsicht bemerkenswerte Tatsache weiter und fand eine Reihe von Lebewesen, die mit dieser Eigenschaft begabt sind. Zum Unterschiede von jenen, die auf das Vorhandensein von Luft angewiesen sind, den aeroben Lebewesen, nannte er diese Gruppe die anaeroben — und dies führte zu einer Reihe weiterer Wahrnehmungen und schließlich auch zum Ausbaue seiner vitalistischen Gärungstheorie.

Er stellte nämlich den Satz auf, daß die Hefe imstande sei, sowohl aerob wie auch anaerob zu leben. Im anaeroben Zustande, also ohne Zutritt von Luft, in Flüssigkeiten untergetaucht, sei die Hefe angewiesen, sich den zum Leben nötigen

Sauerstoff auf andere Weise zu verschaffen. Dies geschieht, indem sie sauerstoffhaltige Verbindungen, wie Zucker, aufnimmt, und ihn unter Entziehung eines Teiles seines Sauerstoffes spaltet, wobei Alkohol und Kohlensäure als Spaltungsprodukte auftreten. Diese „intramolekulare Atmung" sei die eigentliche Ursache der Gärung, während die Hefe bei ungehindertem Luftzutritt nach Pasteurs Anschauung nur ein geringes Gärvermögen zu äußern vermag. Weitere Forschungen haben allerdings diesen Teil seiner Theorie als nicht stichhaltig erwiesen.

Pasteurs Arbeiten hatten zwar viel Licht über das Wesen der Gärung gebracht, auch manche Klarheit über die Natur der Gärungserreger gegeben, doch blieb noch ein wichtiger Schritt zu tun übrig: die Unterscheidung der Gärungserreger selbst. Hier hat der dänische Forscher Hansen im Jahre 1883 eingegriffen. Er zeigte, daß die Ursache nachteiliger Veränderungen des Bieres oder überhaupt des unerwünschten Verlaufes von Gärungsvorgängen durchaus nicht immer nur Bakterien sein müssen, wie Pasteur vermutete, sondern daß auch gewisse Saccharomycesarten in hohem Grade nachteilig auftreten können. Dies führte naturgemäß zu einer eingehenden Untersuchung der damals bekannten Hefearten, wobei sich ergab, daß diese durchaus nicht einheitlicher Natur waren. Ihm verdanken wir vor allem den Begriff der „wilden Hefen" und auch die Nutzanwendung: die Benutzung von Anstellhefen, die aus einer einzigen Hefezelle hervorgegangen sind. Hier hat dann die Forschung und die Praxis weiter gebaut — Delbrücks System der natürlichen Reinzucht ist ebenfalls hierauf zurückzuführen.

Wenn wir die bisher besprochenen Gärungstheorien überblicken, so sehen wir, daß uns über den eigentlichen Vorgang der Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure eigentlich jede dasselbe sagt — oder uns im Stiche läßt. Weder Liebigs chemisch-mechanische Theorie, noch die ihr sehr ähnliche Theorie Nägelis, noch die vitalistische Theorie Pasteurs gibt uns hierüber Aufschluß, Pasteurs Anschauung über die intramolekulare Atmung ist wohl ein Versuch nach dieser Richtung, läßt uns über das „wie" aber auch im Stiche.

Hier haben Beobachtungen den Weg gezeigt, die auf anderen Gebieten gesammelt wurden. Daß sich im keimenden Gerstenkorn ein Körper bildet, der befähigt war, Stärke zu verzuckern, war schon lange bekannt, ebenso daß der Magensaft ein eiweißlösendes Ferment enthielt. Als drittes Beispiel dieser Art sei auf das Labferment im Kälbermagen verwiesen. Alle diese Körper haben die Eigenschaft, in geringer Menge große Stoffmengen umzuwandeln, beispielsweise genügt ein geringer Anteil des im keimenden Gerstenkorne sich bildenden Fermentes, um große Mengen Stärke zu spalten. Es gelang ferner auch einige solcher „chemische Fermente" ziemlich rein darzustellen und mit diesen Substanzen ihre Wirkungen eingehend zu studieren. Dabei zeigte es sich auch, daß sie durch Erwärmen ihre Wirksamkeit vollständig verlieren. Wir nennen diese Stoffe heute „Enzyme" (siehe den betreffenden Abschnitt).

Daß die Hefe Rohrzucker nicht zu vergären vermag, war schon bekannt, ebenso wußte man aber auch, daß sie ein Enzym, die „Invertase", ausscheidet, welches den Rohrzucker in Dextrose und Lävulose spaltet, die gärungsfähig sind, d. h. durch die Hefe weiter in Alkohol und Kohlensäure gespalten werden. Der Gedanke lag nahe, zu untersuchen, ob nicht ein ähnlicher Körper direkt die Zerlegung der Zuckerarten in Alkohol und Kohlensäure besorgt.

Ein bedeutsamer Schritt nach vorwärts wurde nach dieser Richtung durch die Arbeiten des Chemikers E. Fischer gemacht. Fischer beschäftigte sich mit Arbeiten über den Aufbau und die Synthese der Zuckerarten. Er zeigte, daß der Vergärung stets eine „Hydrolyse", d. i. Spaltung unter Wasseraufnahme der Polysaccharide vorausgeht, und besonders, daß sich die verschiedenen Hefearten zu einer neuen Zuckerart, der Melibiose, ganz verschieden verhalten. Während sie von einigen, wie den gewöhnlichen Brauereiunterhefen, vergoren wird, bleiben viele Brauereioberhefen ohne Einwirkung darauf. Der Unterhefe konnte ein Enzym entzogen werden, welches die Melibiose in Glykose und Galaktose zerlegt, aus der Oberhefe konnte dagegen kein solcher Stoff dargestellt werden. Nun ist bekannt, daß die Oberhefe das Enzym „Invertase" enthält, die Invertase muß mithin von dem die Melibiose spaltendem Enzyme verschieden sein.

Anderen Forschern gelang es dann, weitere Enzyme in der Hefe aufzufinden, so die Maltase, welche die Zuckerart Maltose zerlegt, die Laktase, welche Milchzucker spaltet usf. Den bedeutsamsten Schritt verdanken wir aber H. und E. Buchner, denen die Isolierung des den Zucker in Alkohol und Kohlensäure spaltenden Enzyms, der Zymase, gelang. Dadurch war der Nachweis erbracht, daß die lebende Hefezelle als solche zur Hervorrufung des Gärungsvorganges nicht nötig ist, weil es gelingt, durch Zusatz von Zymase (oder Alkoholase) zu einer Zuckerlösung binnen wenigen Minuten lebhafte Gärungserscheinungen hervorzubringen. Durch diese Entdeckung ist allerdings auch ein Teil der vitalistischen Gärungstheorie Pasteurs gefallen — und anderseits hat Liebig Recht bekommen — freilich in etwas anderer Weise, als diese Forscher dachten. Es ist nun erwiesen, daß ohne Hefe keine alkoholische Gärung möglich ist, weil einzig und allein die Hefe die Zymase produziert — allerdings sind lebende Hefezellen zur Hervorrufung des Gärungsvorganges selbst nicht erforderlich. Anderseits lebt jener Teil der Liebigschen Anschauung wieder auf, der die Spaltung des Zuckers als rein chemischen Vorgang aufgefaßt wissen will und von einer Molekularbewegung spricht, die sich auf den Zucker überträgt. In mancher Hinsicht gemahnt die Wirkung der Enzyme an diese Vorstellung, weil ganz geringe Mengen dieser Stoffe befähigt sind, sehr große, theoretisch unendliche Mengen eines anderen Stoffes zu spalten und umzuwandeln. In dem Abschnitte über die Enzyme der Hefezellen werden wir diese wichtigen und interessanten Körper noch eingehender zu erörtern haben.

Welche Bedeutung die Forschungen Hansens für die Gärungsgewerbe erlangten, wurde schon angedeutet. Indem er zeigte, daß wir nicht nur verschiedene Hefearten, sondern vielmehr bestimmte und wohl definierte Heferassen zu unterscheiden haben, die sich fortzüchten lassen und, wenn gewisse Bedingungen eingehalten werden, auch ihre Eigenschaften bewahren, schuf er in der „Reinzuchthefe“ das Hilfsmittel, stets ganz gleiche Gärungserzeugnisse, Ausbeuten usf. zu erzielen und sich von manchen störenden Zufällen unabhängig zu

machen. Wir dürfen aber hier eines anderen Forschers ebenfalls nicht vergessen, dessen Arbeiten auch in mehr als einer Hinsicht für die Gärungsgewerbe die größte Bedeutung erlangten. Dies ist Robert Koch, dem wir auf diesem Gebiete besonders das Studium vieler Bakterienarten und die Methoden zu ihrer Reinkultur zu verdanken haben. Bei Erörterung der Eigenschaften und der Lebensbedingungen der für die Gärungsgewerbe wichtigen Bakterien werden wir darauf noch zurückkommen.

Ehe wir diesen Abschnitt, der uns einen Überblick über die Entwicklung der Lehre von den Gärungsorganismen geben soll, schließen, müssen wir auch noch jener Männer gedenken, deren Verdienst es war, nicht nur unser Wissen auf diesem Gebiete vermehrt, sondern auch seine Übertragung in die Praxis durchgeführt zu haben. Der Name Max Maerckers ist mit der Entwicklung der Gärungsgewerbe ebenso untrennbar verknüpft, wie der Lindners und Delbrücks und des unter dessen Leitung stehenden Instituts für Gärungsgewerbe zu Berlin.

Wir sehen somit, daß, ausgehend von ganz vagen Vorstellungen über das Wesen der Gärung, heute unsere Kenntnis über dieses wichtige Gebiet menschlicher Tätigkeit zu einem mächtigen Gebäude zusammengeschlossen ist, in welchem festgefügt Baustein auf Baustein ruht. Wohl ist mit Bestimmtheit zu erwarten, daß uns die Forschung noch so manche Aufklärung und vielleicht auch Überraschung bringen wird, doch ist kaum anzunehmen, daß diese zu gewärtigenden Entdeckungen so einschneidend und revolutionierend auf die Gärungsgewerbe wirken werden, wie die Forschungen Pasteurs, Hansens, Maerckers u. a. Die Praxis der Gärungstechnik hat heute wohl schon den größtmöglichsten Nutzen aus der Forschung gezogen. Wohl wird es hier auch nicht an Verbesserungen und Fortschritten fehlen, wie ja überhaupt der Fortschritt unaufhaltsam und unabwendbar ist, doch sind so gewaltige Entdeckungen, wie beispielsweise die Einführung der Anwendung von Reinkulturen, wohl zunächst kaum zu erwarten.

Unsere gegenwärtig geltenden Anschauungen geben uns wohl ein klares Bild von den Lebensbedingungen der Gärungs-

organismen und durch eingehende, unwiderlegliche Forschungen ist auch der Satz „omne ovum ab ovo" — jeder Keim stammt von einem anderen Keime ab — bewiesen, doch gibt uns die Forschung über das Auftreten des ersten Keimes keinen Aufschluß. Betrachtungen über dieses Thema gehören allerdings in das Gebiet der Philosophie. Fragen dieser Art werden aber auch durch philosophische Spekulationen weder beantwortet, noch der Beantwortung näher gerückt. Doch mag über dieses Thema so viel gesagt sein, daß die Naturwissenschaft heute auf dem Standpunkte der „Panspermie" steht, d. h. daß sie annimmt, daß ebenso wie die Weltkörper, auch die Keime aller organischen Wesen seit jeher vorhanden sind und daß diese Keime den Weltraum erfüllen. Ja es ist sogar vermutet worden, daß solche Keime, der Schwerkraft entgegen, von einem Weltkörper zum anderen wandern können, sich überall niederlassend und dort sich weiter ausbildend, wo sie günstige Bedingungen hierzu finden. Natürlich kann die Ausbildung unter anderen Bedingungen wohl auch nach anderen Richtungen geschehen, als sie auf unserem Planeten erfolgte.

Wir haben den Alkohol als ein durch die Lebenstätigkeit von Mikroorganismen entstandenes Spaltungsprodukt des Zuckers kennen gelernt. Es frägt sich nun, ob die Gewinnung dieses technisch wichtigen Körpers nicht auch auf anderem, rein synthetischen Wege möglich ist? Dies ist allerdings der Fall. Leitet man Äthylen in Schwefelsäure, so entsteht Äthylschwefelsäure, die durch Wasser wieder in Schwefelsäure und Alkohol zerlegt wird. Äthylen kann leicht durch Reduktion von Azetylen erhalten werden, das man durch Zersetzung des heute im großen Maßstabe dargestellten Kalziumkarbids gewinnt. Technisch wäre dieser Prozeß erst dann möglich, bis die Rohstoffe entsprechend billig erzeugt werden, was gegenwärtig noch nicht der Fall ist. Zur Darstellung des Karbids ist stets ein großer Energieaufwand nötig, der bezahlt werden muß — und in dieser Hinsicht arbeitet die Hefezelle doch immer noch billiger. Es ist daher wohl auch anzunehmen, daß von dieser Seite den Gärungsgewerben, speziell der Spiritusfabrikation nicht sobald eine ernste Konkurrenz erwachsen wird.

II. Abschnitt.

Die Gärungsorganismen.

Die Gärungsorganismen sind Pflanzen und gehören zu der großen Familie der Pilze (Fungi). Diese zerfällt in zwei Gruppen: in die eigentlichen Pilze (Eumycetes) und die Spaltpilze (Schizomycetes). Zur ersten Gruppe gehören die Schimmelpilze und die Hefen, zur zweiten die Bakterien, dies sind jene drei Formen von Mikroorganismen, mit deren Vertretern wir uns hier zu beschäftigen haben. Von den Spaltpilzen unterscheiden sich die eigentlichen Pilze vor allem dadurch, daß sie im allgemeinen aus Fäden bestehen, welche Spitzenwachstum und echte Verzweigung aufweisen. Die Eumyceten oder eigentlichen Pilze umfassen zwei große Entwicklungsreihen, die Algenpilze (Phycomycetes) und die höheren Pilze (Mycomycetes). Von den Phycomyceten interessieren uns hier nur Angehörige einer Gruppe, die der Brückenpilze (Zygomycetes), und von dieser nur die Familie der kopfschimmelartigen Pilze (Mucoraceae).

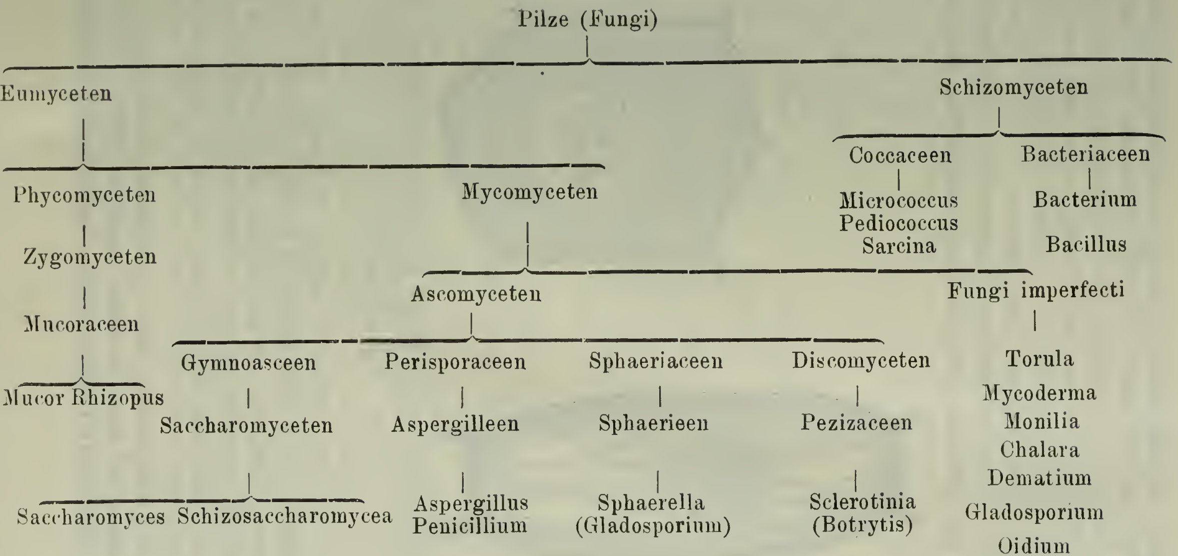
Zahlreichere Angehörige, welche vom gärungstechnischen Standpunkte aus interessant und wichtig sind, finden wir in der Gruppe der Mycomyceten. Zunächst die Schlauchpilze (Ascomyceten) und dann Vertreter folgender Ordnungen: die Gymnoasceen mit der höchst wichtigen Familie der Saccharomyceten, die Perisporaceen mit der Familie der Aspergilleen, die Sphaeriaceen mit der Familie der Sphaerieen und die Diskomyceten, zu denen die Familie der Pezizaceen gehört. Eine weitere Gruppe, die ebenfalls zu den Mycomyceten gehört, wird als „unvollkommene Pilze“ oder „fungi imper-

fecti" bezeichnet, Organismen, deren Entwicklungsgang noch nicht genau bekannt ist und die daher in eine eigene Gruppe eingereiht wurden. In dieser Gruppe finden wir von technisch wichtigen Mikroorganismen z. B. die Torulaarten, Mycoderma u. a. Die Zusammenstellung auf Seite 25 gewährt eine Übersicht über die Systematik der uns hier interessierenden Mikroorganismen.

Die große Familie der Pilze (Fungi) zählt durchaus dem Pflanzenreiche angehörende Lebewesen zu ihren Angehörigen, die — im Gegensatze zu den höher organisierten Pflanzen — kein Blattgrün (Chlorophyll) besitzen. Das Blattgrün vermittelt den höheren Pflanzen die Aufnahme eines Teiles ihrer Nahrung aus der Luft, indem sie Kohlensäure assimilieren und unter der Einwirkung des Lichtes in den grünen Zellen unter gleichzeitiger Aufnahme von Wasser zu Zucker, Stärke ꝛc. weiter verarbeiten. Da diese Fähigkeit den Pilzen fehlt, sind sie nur auf die Aufnahme solcher Nahrung angewiesen, die von anderen höheren Pflanzen gebildet wurde.

Außer der Gruppe der Pilze kennen wir jedoch auch noch Lebewesen, die auf einer anderen Stufe der Entwicklung stehen. Wir treffen z. B. ganz einfache Gebilde, die noch keine Zellhaut besitzen und nur aus einem mikroskopischen Eiweißkörperchen bestehen, wie z. B. die Amöben, anderseits aber auch höhere Entwicklungsformen, zu denen wir beispielsweise die Spaltpilze und die Hefen rechnen müssen. Diese bestehen zwar auch nur aus einer einzigen Zelle, während die höheren Pflanzenarten aus mehreren oder auch aus ungemein vielen Zellen zusammengesetzt sind. Doch verfügen die Bakterien und Hefen schon über eine bestimmte, durch eine Zellhaut abgegrenzte Form. Noch höher stehen die Schimmelpilze, deren Organismus mitunter schon aus einer größeren Anzahl von Zellen aufgebaut ist.

Wir haben nun wiederholt den Ausdruck „Zelle" gebraucht und wollen uns mit diesen wichtigen Gebilden etwas eingehender befassen. In der Regel sind die Zellen so klein, daß sie dem freien Auge unsichtbar sind. Wie erwähnt, bestehen die höheren Pflanzen aus vielen bis unzähligen solcher Gebilde, die niedrigsten nur aus wenigen Zellen oder sie sind


Pilze (Fungi)
Eumyceten
Schizomyceten
Coccaceen
Bacteriaceen
Micrococcus
Pediococcus
Sarcina
Bacterium
Bacillus
Phycomyceten
Mycomyceten
Zygomyceten
Mucoraceen
Mucor Rhizopus
Ascomyceten
Fungi imperfecti
Gymnoasceen
Perisporaceen
Sphaeriaceen
Discomyceten
Saccharomyceten
Aspergilleen
Sphaerieen
Pezizaceen
Saccharomyces Schizosaccharomycea
Aspergillus
Penicillium
Sphaerella
(Gladosporium)
Sclerotinia
(Botrytis)
Torula
Mycoderma
Monilia
Chalara
Dematium
Gladosporium
Oidium

überhaupt einzellig. Jede Zelle ist ein Lebewesen für sich, in der sich ganz bestimmte Vorgänge abspielen. Während sich aber in den einzelligen Pflanzen naturgemäß der gesamte Lebensvorgang in dieser einen Zelle abspielt, treten bei den höheren Pflanzen Differenzierungen ein, indem einzelne Zellenkomplexe bestimmte Verrichtungen übernehmen.

Die Zellen der höheren Pflanzen sind von einer festen Hülle, der Zellhaut oder Membran umschlossen. Im Innern

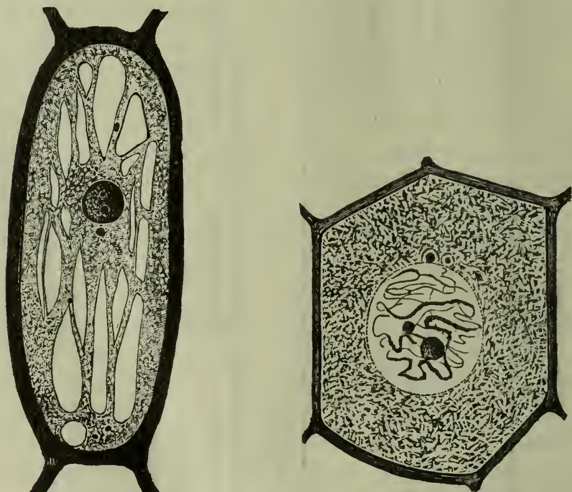


Fig. 1. Pflanzenzellen, in denen das Protoplasma, die Vakuolen und der Zellkern sichtbar sind. Rechts eine Pflanzenzelle mit dem zentral gelagerten Zellkerne.

der Zelle befindet sich ein weicher, schleimiger Körper, das Protoplasma, eine stickstoffhaltige Verbindung. Die Zellhaut ist dagegen Zellulose, eine stickstofffreie Verbindung, die sich in Wasser nicht zu lösen vermag. Doch besitzt die Zellhaut die wichtige Eigenschaft, Wasser oder wässerige Lösungen durchtreten zu lassen.

Im Protoplasma, das den eigentlichen Träger der Erscheinungen, die wir als Leben bezeichnen, bildet, können wir stets größere oder kleinere Räume beobachten, die Safträume

oder Vakuolen (Fig. 1), die mit einer Flüssigkeit, dem Zellsafte, erfüllt sind. Der Zellsaft ist eine Lösung verschiedener Stoffe. Ferner können wir im Protoplasma der meisten Zellen einen kleinen, scharf umgrenzten Körper, den Zellkern oder Nukleus beobachten. Er läßt in seinem Innern meist ein oder mehrere helle Körperchen, die Kernkörperchen, erkennen und besteht aus einer phosphorsäurehaltigen Eiweißverbindung, dem Nuklein. Erwähnt sei endlich noch, daß sich das Protoplasma in der lebenden Zelle in steter Bewegung befindet, es kreist im Innern der Zelle an der Wandung oder es erfüllt die Zelle nach Art eines Netzes, dessen einzelne Fäden in steter Bewegung begriffen sind.

Jede Zelle ist, so lange sie noch lebendes Protoplasma und den Zellkern enthält, der Vermehrung fähig. Die Vermehrung geht in der Weise vonstatten, daß sich zunächst der Zellkern in zwei Teile spaltet. Dann trennt sich auch das Protoplasma der in Teilung begriffenen Zelle in zwei Massen, deren jede einen Zellkern umschließt, und dann bildet sich zwischen den beiden Protoplasmamassen mit ihren Zellkernen eine Scheidewand aus Zellulose. So entstehen aus einer Zelle zwei, die nun neuerdings zu wachsen und sich zu vermehren vermögen.

Das Gesagte bezieht sich eigentlich nur auf die Zellen der höheren Pflanzen, von denen viele auch verhältnismäßig groß sind und daher leicht eine eingehende Beobachtung ihres Baues, der sich im Innern der Zelle abspielenden Vorgänge usf. gestatten. Anders liegt vielfach die Sache bei den Angehörigen der Gruppe der Pilze, mit denen wir uns hier zu befassen haben. Die allerkleinsten Lebewesen, die wir überhaupt kennen und die mit Hilfe der besten Mikroskope eben noch wahrgenommen werden können, treffen wir in dieser Gruppe an; es ist daher auch klar, daß das Studium ihrer Eigenschaften manche Schwierigkeit bereitete, ja, daß manche Erscheinung auch heute noch nicht in einer jeden Zweifel ausschließenden Art aufgeklärt ist. Um uns eine Vorstellung von der Größe dieser Organismen zu machen, wollen wir uns 1 Millimeter in 1000 Teile geteilt denken. Die Konidien des Pinselschimmels, die schon zu den großen in der Gruppe der Pilze gehören,

sind etwa 16 Tausendstel Millimeter (0,016 Millimeter) lang und 4 Tausendstel breit. Zum Zwecke der Vereinfachung der Ausdrucksweise bezeichnet man ein Tausendstel Millimeter mit dem griechischen Zeichen für m = μ und nennt diese Größe ein Mikromillimeter oder ein Mikron. Andere Organismen sind jedoch weit kleiner, so ist das Essigbakterium nur rund 2 μ (Mikromillimeter) lang und 1 μ breit. Es ist daher begreiflich, daß ein Tröpfchen einer bakterienhaltigen Flüssigkeit gleich Millionen Individuen enthalten kann.

Organismen von solcher Kleinheit besitzen natürlich auch nur ein sehr geringes Gewicht und dies trägt zu ihrer Verbreitung bei. Der leiseste Lufthauch vermag sie mitzuführen, es dauert längere Zeit, ehe sie in vollkommen ruhiger Luft zu Boden sinken und daraus erklärt sich auch die ungeheure Verbreitung aller dieser Lebewesen. Wo immer man auch die Luft einer Untersuchung unterzieht, überall wird man Mikroorganismen der verschiedensten Art vorfinden und darunter natürlich auch solche, die in den Gärungsgewerben eine teils nützliche, teils schädliche Rolle spielen. Auch im Wasser sind stets unzählige Mikroorganismen enthalten und ihre Zahl steigt um so mehr, je mehr die Wasserläufe verunreinigt werden. Quellen sind dagegen — sofern sie nicht durch verseuchten Boden fließen — zumeist ganz frei von Bakterien oder sie enthalten nur wenige harmlose Keime im Liter. Staub und Schmutz sind natürlich die wichtigsten Brutstätten von Mikroorganismen aller Art.

Angesichts dieser ausgedehnten Verbreitung ist es erklärlich, daß wir beispielsweise eine zuckerhaltige Flüssigkeit nur offen stehen zu lassen brauchen, worauf sie alsbald in Gärung übergeht, oder daß z. B. die Milch sauer wird und gerinnt, wenn man nicht durch Abkochen für die Tötung der schon hineingelangten Keime des Milchsäurebazillus sorgt. Die Allgegenwart solcher Mikroorganismen wird aber noch durch einen weiteren Umstand befördert, durch die Raschheit und Leichtigkeit, mit der sie sich vermehren. Die einzelligen Mikroorganismen, wie beispielsweise die Bakterien, vermehren sich durch Spaltung — ebenso, wie wir dies oben für die einzelne Zelle schilderten. So entstehen aus einem Individuum deren

zwei, die sich jedoch, sobald sie eine bestimmte Größe erreicht haben, abermals teilen usf. Nun vollzieht sich der Teilungsvorgang innerhalb sehr kurzer Zeit, bei manchen Organismen zwei- bis dreimal in einer Stunde, und dies vermag uns schon eine Vorstellung von der Unzahl von Individuen zu geben, die binnen weniger Stunden von einem einzigen Organismus abstammen können.

Freilich ist auch hier der ungehinderten Vermehrung eine Grenze gezogen. Sie liegt darin, daß auch diese winzigen Organismen Raum und Nahrung brauchen und daß sie in der Natur selten allein — in Reinkulturen gewissermaßen — auftreten. Immer stellen sich auch andere Arten ein, die sich gegenseitig bekämpfen und unterdrücken. Endlich gehen sie oft auch an ihren eigenen Stoffwechselprodukten zugrunde. So vermag beispielsweise die Hefe nicht unausgesetzt Alkohol zu produzieren, sammelt sich dessen Menge in der gärenden Flüssigkeit bis zu einer gewissen Menge an, so wird die zuckerspaltende Tätigkeit der Hefe immer geringer und endlich hört die Gärung ganz auf. Ganz dasselbe Verhalten zeigt der Essigpilz und alle anderen Mikroorganismen. Schafft man dagegen ihrer Entwicklung zusagende Verhältnisse, so kommt dann die enorme Vermehrungsfähigkeit zur Geltung. Ein Beispiel dieser Art bietet die Lufthefebereitung.

Eine weitere wichtige und allgemeine Eigenschaft der Mikroorganismen — und somit auch jener, die uns hier vom gärungstechnischen Standpunkte ganz besonders interessieren — ist ihre Widerstandsfähigkeit gegen äußere Einflüsse. Kälte und Druck sind überhaupt ohne Einwirkung und die meisten vertragen so niedere Kältegrade, ohne zugrunde zu gehen, als wir sie überhaupt zu erzeugen vermögen, also Temperaturen, die mehr als 100° unter Null liegen. Gegen Hitze sind sie dagegen empfindlicher, doch pflegt im allgemeinen jene Temperatur, bei welcher das Eiweiß gerinnt, also 60 bis 70° C sie schon zu töten, sofern sie in Flüssigkeiten erhitzt werden, doch ist es auch dann nötig, die Temperatur 5 bis 10 Minuten einwirken zu lassen. Sind die Mikroorganismen dagegen trocken, so ertragen sie weit höhere Temperaturen, manche sogar 100° und selbst darüber.

Noch weit widerstandsfähiger als die eigentlichen Mikroorganismen sind die Sporen, die sie bilden. Dies sind Übergangsformen, die sich in den Zellen als festere, mit einer widerstandsfähigen Haut umgebene Eiweißmassen ausscheiden und unter günstigen Verhältnissen sich wieder zur vegetativen Form ausbilden. Diese Sporen sind weit widerstandsfähiger, vertragen sowohl im feuchten wie im trockenen Zustande weit höhere Temperaturen als die vegetative Form und sind daher vor allem bestimmt, die Erhaltung der Art zu sichern.

Daraus ergibt sich, daß es nicht gar zu leicht ist, die Mikroorganismen vollständig zu vernichten, zum mindesten sind zur „Sterilisation", d. h. zur Tötung aller vegetativen Formen und ihrer Sporen in einer Flüssigkeit oder an einem Gegenstande besondere Vorsichtsmaßregeln nötig. Man hat jedoch gefunden, daß die Tötung, auch der Sporen, mit vollster Sicherheit gelingt, wenn man außer höheren Temperaturen gleichzeitig auch Druck anwendet. Wird eine Mikroorganismen enthaltende Flüssigkeit unter einem Drucke von zwei Atmosphären erhitzt, so genügen in der Regel schon 10 bis 15 Minuten, um alle vorhandenen Keime zu töten.

Wie wir gesehen haben, zeigen die vegetativen Zellen und die Sporen der Mikroorganismen mithin ein verschiedenes Verhalten gegenüber schädlichen Einflüssen. Für manche Zwecke ist es jedoch genügend, wenn keine Tötung aller Keime, sondern nur der vegetativen Zellen stattfindet, während gleichzeitig die Sporen gelähmt und ihre Entwicklung hinausgeschoben wird. Dies ist z. B. bei manchen Nahrungsmitteln der Fall, die keine stärkere Erhitzung ohne Veränderung von Aussehen und Geschmack vertragen, etwa Milch. Dann greift man zu einem Verfahren, welches als „Pasteurisieren" bezeichnet wird. Erhitzt man sie vorübergehend auf 60 bis 70° C, so werden die vegetativen Zellen getötet und die Sporen vermögen sich erst nach einigen Tagen zu entwickeln, wodurch die Haltbarkeit verlängert wird. Noch empfindlichere Substanzen, die länger anhaltendes Erhitzen auf 60 bis 70° C nicht vertragen würden, pflegt man an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen, jedoch immer nur während kurzer Zeit zu pasteurisieren. Man nennt diesen Vorgang die „fraktionierte Sterilisation" und

ihre Grundlage ist nun wohl klar. Während des Zeitraumes, der zwischen zwei Pasteurisierungen liegt, haben die Sporen, welche durch das Pasteurisieren nicht berührt werden, Gelegenheit, auszukeimen und wieder die vegetative Form zu bilden, die dann bei der Pasteurisierungstemperatur zugrunde geht.

Außer der Einwirkung von Druck und hoher Temperatur verfügen wir noch über ein Mittel, Mikroorganismen zu töten, es besteht in der Verwendung solcher Stoffe, die auf sie als Gifte wirken. Man bezeichnet dies als „Desinfektion", wozu jedoch bemerkt werden mag, daß sich auch den gebräuchlichen Desinfektionsmitteln gegenüber nicht alle Mikroorganismen gleich verhalten und daß auch die kräftigsten Desinfektionsmittel zweckmäßig angewendet werden müssen, um einen Erfolg zu erzielen. Besonders die Verwendung gasförmiger Desinfektionsmittel (schwefelige Säure, Formalin ꝛc.) geschieht oft viel zu kurz und wird viel zu bald unterbrochen.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß das Verhalten der Mikroorganismen äußeren Einwirkungen gegenüber durchaus nicht gleich ist — ebensowenig, wie auch ihre sonstigen Eigenschaften, ihre Lebensbedingungen, ihre Ernährung, dann auch die Wirkungen, welche sie äußern usf., sich gleichen. Weil aber zu einer Gruppe oder Gattung gehörende Organismen doch bis zu einem gewissen Grade gemeinsame Eigenschaften aufweisen, so wird es angezeigt sein, wenn wir diese gesondert erörtern. Wie schon wiederholt erwähnt, gehören die gärungstechnisch wichtigen Mikroorganismen drei Gruppen an, der Gruppe der Mucoracaeen, jener der Saccharomyceten und der Schizosaccharomyceten und endlich der Bakterien. Wir wollen zunächst die Eigenschaften und die wichtigsten Vertreter der höchststehenden Form, der Schimmelpilze erörtern.

Schimmelpilze.

Von den Spaltpilzen unterscheiden sich die eigentlichen Pilze dadurch, daß ihr vegetatives Organ ein Mycelium ist. Es besteht aus langen Fäden, welche Spitzenwachstum und echte Verzweigung besitzen, doch ist das ganze Mycel häufig

nur eine einzige, öfters verzweigte Zelle. Querwände treten in diesen Zellen nur unter bestimmten Bedingungen auf, in der Regel erst dann, wenn die Fruktifikation beginnt. Die uns hier interessierenden Vertreter gehören zumeist zur Gruppe der Zygomyceten (Brückenpilze), der Aspergilleen und der Pezizazeen.

Die Schimmelpilze spielen in den Gärungsgewerben eine doppelte Rolle. Einzelne Vertreter dieser Gattung besitzen allerdings eine gewisse technische Bedeutung, besonders in der Käsefabrikation, indem sie dem Käse erst das gewünschte Aussehen und den eigenartigen Geschmack verleihen. Wir erinnern hier an den von grünen und roten Schimmelvegetationen durchsetzten Gorgonzola und an den Roquefort, auf dessen Oberfläche sich auch eine Schimmelvegetation als normaler, zur Reifung beitragender Vorgang einstellt. Einige andere Formen besitzen ein sehr kräftig wirkendes diastatisches Enzym, wie der japanische Aspergyllus Oryzae, eine Art Citromyces, vermag unter bestimmten Bedingungen Traubenzucker in Zitronensäure zu verwandeln. Die Mehrzahl der Schimmelpilze sind jedoch in den Gärungsgewerben ungebetene Gäste, die teils selbst nachteilig wirken können, indem sie Nahrungsmittel ungenießbar machen oder ihnen den charakteristischen Schimmelgeschmack erteilen, oder indem sie, beziehungsweise die dichten Rasen, die sie oft in unsauber gehaltenen Lokalen bilden, Brutstätten für andere, schädlich wirkende Mikroorganismen bilden.

In gut gehaltenen Kellereien, Gärlokalen usf. darf daher die Ansiedlung von Schimmelpilzen nicht geduldet werden, doch auch an anderen Örtlichkeiten, die mit den Gärungsgewerben im Zusammenhange stehen, dürfen sie sich nicht ansiedeln. Immerhin sind sie zu den minder gefährlichen Feinden zu rechnen, schon deshalb, weil sie sich leicht dem freien Auge bemerkbar machen und daher auch ihre Bekämpfung leichter ist als die anderer, viel kleinerer Mikroorganismen.

1. Bau und Vermehrung der Schimmelpilze.

Die Schimmelpilze bilden meist deutlich wahrnehmbare, verschieden gefärbte, ausgedehnte Vegetationen („Schimmel-

rasen"), die sich aus den Zellen aufbauen. Die Zellen sind von einer Membran umgeben, welche das Protoplasma umschließt, in dem sich die Vakuolen und der Zellkern erkennen lassen. Das Protoplasma ist eine schleimige, zähflüssige Masse, durchsetzt mit kleinen Körnchen, die sich häufig in unter dem Mikroskope deutlich sichtbarer Bewegung befindet, ein Teil ist als dünne Schicht der Zellhaut angelagert. Die Zellhaut besitzt nicht die gleiche Zusammensetzung wie die Membran der Zellen höherer Pflanzen, sondern sie besteht aus Pilzzellulose, die sich chemisch von der eigentlichen Zellulose unterscheidet. Häufig sind in die Zellhaut Farbstoffe eingelagert, die den Schimmelvegetationen die charakteristische Färbung erteilen.

Das Myzel der Schimmelpilze besteht, wie erwähnt, manchmal nur aus einer einzigen, oft jedoch verzweigten Zelle. Diese Fäden (Hyphen) tragen im Innern oft Scheidewände, ihr Wachstum findet jedoch nur an der Spitze statt. Ältere Zellen bilden oft Ausstülpungen, die sich dann zu Seitenästen entwickeln.

Die erwähnten Scheidewände sind jedoch durchaus nicht für alle Schimmelpilze charakteristisch. Die Mucorarten zeigen sie zumeist nicht und der Pilzkörper besteht dann in seiner ganzen Ausdehnung und mit allen Verzweigungen nur aus einer einzigen Zelle. Unter besonderen Bedingungen kann sich aber dann eine andere Art der Ausbildung zeigen: das Myzel löst sich, in einer Flüssigkeit untergetaucht, in einzelne voneinander getrennte Zellen auf, die kugelförmige Gebilde sind. Man bezeichnet diese Form als Mucorhefe oder Kugelhefe. Viele Schimmelpilze bilden auch sogenannte Sklerotien, das sind ausdauernde Organe, die durch Kopulation der Myzelfäden entstehen, wobei sich gleichzeitig deren Wände verdicken.

Die Vermehrung der Schimmelpilze geht auf verschiedene Weise vonstatten, teils durch Sporenbildung in den Sporangien, teils durch die Zygosporen, endlich aber auch bei einigen Formen durch Sproßzellen, Gemmen und Konidien.

Die einfachste und gewöhnlichste Art ist die Vermehrung durch Sporen. Sie entwickeln sich beispielsweise bei den Mucor-

arten im Innern des Sporangiums, das sich durch Abschnürung eines Myzelfadens bildet. Sind die Sporen reif, so platzt durch Wasseraufnahme das Sporangium und die Sporen werden in Freiheit gesetzt.

Anders geht die Zygosporenbildung vonstatten. Solche „Brückensporen" entstehen in folgender Art: Zwei nahe aneinanderliegende Myzelfäden treiben keulenförmige Ausstülpungen gegeneinander, bis sie sich berühren. An der Berührungsstelle verflachen sich die Auswüchse, worauf sie miteinander verwachsen. Eine Scheidewand trennt dann den entstandenen Hohlraum ab, der durch das Verschmelzen von zwei Endzellen entstanden ist und „Zygospore" heißt.

Die dritte Art der Fortpflanzung besteht in der schon besprochenen Auflösung des Myzels in zahlreiche kugelförmige Zellen; diese Fortpflanzungskörper werden Gemmen oder Chlamydosporen genannt.

Wenn die Sporen auf günstige Verhältnisse stoßen, so keimen sie aus und entwickeln sich wieder zu einem Myzel. Zunächst schwillt die Spore sehr stark an, dann entsteht eine Ausstülpung, die sich fadenförmig verlängert und sich endlich durch eine Querwand von der Mutterzelle scheidet; oft ist der Vorgang jedoch weit komplizierter. Die Sporen der Schimmelpilze sind weit widerstandsfähiger als das Myzel, besonders im trockenen Zustande vertragen sie auch höhere Temperaturen.

2. Die Lebensweise der Schimmelpilze.

Die Schimmelpilze sind — wie alle anderen Arten der Klassen der Pilze — auf die Verarbeitung schon fertig gebildeten organischen Materiales angewiesen, weil ihnen das Chlorophyll fehlt, welches die höheren Pflanzen zur Assimilation befähigt. Wir finden sie daher überall dort, wo organische Substanzen in Zersetzung übergehen. Doch muß eine Bedingung vorhanden sein, ohne die sie nicht zu existieren vermögen, nämlich Wasser, beziehungsweise Feuchtigkeit. Nur bei Gegenwart einer genügenden Menge von Wasser vermögen die Sporen zu keimen und sich zum Myzel zu entwickeln, umgekehrt vermögen sich die Sporen sehr lange

bei voller Trockenheit am Leben zu erhalten. Außer geformter organischer Nahrung benötigen die Schimmelpilze natürlich auch anorganischer Nährstoffe, die sie jedoch schon als Bestandteile der organischen Substanz aufnehmen. So ist mit Sicherheit nachgewiesen, daß sie unbedingt Kaliumverbindungen benötigen, ferner muß Magnesium vorhanden sein. Auch Eisen ist zu ihrer Ernährung unerläßlich, ebenso Phosphor.

Wie alle Mikroorganismen, sind die Schimmelpilze ziemlich anspruchslos und dies trägt natürlich auch sehr viel zu ihrer allgemeinen Verbreitung bei. Besonders bevorzugen sie aber zuckerhaltige Nährmedien, und dies ist auch der Grund, weshalb viele Formen einen ausgezeichneten Nährboden auf Trauben, auf keimender Gerste, auf der Würze usf. finden. Bei Besprechung der wichtigsten Arten der Schimmelpilze werden wir diese Verhältnisse noch eingehender zu erörtern haben.

Die Wirkung der Schimmelpilze auf das Substrat, auf dem sie vegetieren, äußert sich dadurch, daß sie die ihnen zur Nahrung dienenden Substanzen langsam verbrennen (oxydieren). Gleichzeitig scheiden sie aber auch eigentümlich riechende Stoffe aus, welche die Ursache des bekannten „Schimmelgeruches“ sind. Dieser Geruch ist so eigenartig, daß er selbst dort, wo zunächst nur geringe Schimmelwucherungen auftreten, deutlich wahrgenommen werden kann und nicht selten Lebensmittel ꝛc. ungenießbar macht. Auch Getreide und Malz kann bei schlechter Behandlung und Aufbewahrung unter diesem Übelstande leiden. („Dumpfiger“, „muffiger“ Geruch.)

Wichtig ist ferner, daß die meisten Schimmelpilze ansehnliche Mengen von Enzymen produzieren. Diese Enzyme vermögen sowohl Stärke zu verzuckern (Diastase), wie auch Alkohol zu vergären (Zymase). Ganz besonders gilt dies von den Amylomycesarten, die sehr diastasereich sind und deshalb in der Technik Anwendung finden.

3. Technisch wichtige Schimmelarten.

Die Gruppe der Schimmelpilze ist ungemein reich an Arten, doch besitzt nur eine geringe Anzahl für die Technik der Gärungsgewerbe eine hervorragendere Bedeutung. Wie

erwähnt, kann sich diese nach zwei Richtungen betätigen. Entweder sind die Schimmelpilze ungebetene Gäste, die teils direkt, teils indirekt, indem sie die Entwicklung anderer Mikroorganismen begünstigen, nachteilig wirken können, oder sie werden zu technischen Zwecken herangezogen. Weitaus die größere Anzahl der Schimmelarten gehört zur ersten Gruppe. Weil sowohl ihre Gefährlichkeit, wie auch ihre technische Bedeutung verhältnismäßig — wenigstens im Vergleiche mit anderen Mikroorganismen — gering ist, können wir uns bei der Erörterung ihrer Eigenschaften, Lebensbedingungen rc. kurz fassen.

Grüner Pinselschimmel (Penicillium glaucum).

Der Pinselschimmel ist einer der am häufigsten auftretenden Schimmelpilze, allerdings umfaßt die Gattung Penicillium eine Anzahl einander sehr nahe verwandter Arten. Seine Sporen finden sich regelmäßig im Staub, in der Luft, kurz an allen Orten vor, auch am Getreide ist er stets anzutreffen, mit Vorliebe siedelt er sich auf Grünmalz an, und zwar um so leichter und häufiger, je mehr beschädigte Körner es enthält. Der „Schimmelgeruch" und „Schimmelgeschmack" wird durch diesen Pilz in ganz besonders hervorragendem Grade hervorgerufen. Penicillium glaucum ist wohl die lästigste und verbreitetste Art, de Bary, dem wir die eingehendsten Untersuchungen des „Brotschimmels", wie er auch genannt wird, verdanken, bezeichnet ihn daher mit Recht als „Schimmel par excellence".

Die Sporen des Pinselschimmels sind ungemein klein, ihr Durchmesser beträgt nur 2·5 μ. Wenn eine Konidie zu keimen beginnt, so brechen nach verschiedenen Richtungen Keimschläuche hervor, die sich zum Myzel (Fig. 2) ausbilden. Aus dem Myzel erheben sich wieder einzelne Fäden, die sich zu Konidienträgern ausgestalten. Das Myzel des Schimmels, das meist einen dichten Rasen bildet, ist anfangs weiß, später nimmt es eine bläulichgrüne Farbe an. Besonders nach der Ausbildung der Sporen ist die Farbe deutlich grün; ältere Rasen färben sich grau bis braun.

Die günstigste Temperatur, bei der sich Penicillium

glaucum am üppigsten entwickelt, liegt zwischen 20 und 30°, über 30° nimmt das Wachstum rasch ab. Wie bei allen diesen Arten sind die Sporen sehr widerstandsfähig, sie vertragen im trockenen Zustande eine Erhitzung bis auf 120°, feuchte Sporen gehen schon bei 100° zugrunde.

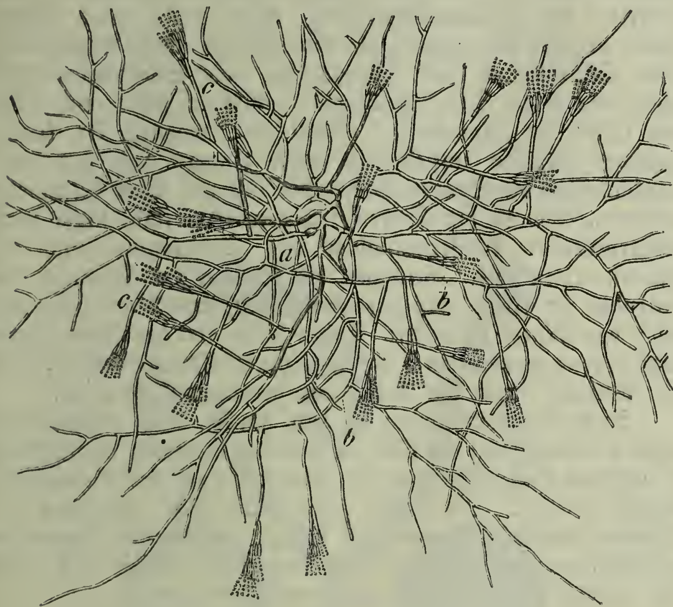


Fig. 2. Myzel von Penicillium glaucum.

Bemerkenswert ist, daß der Pinselschimmel auch gegen Gifte sehr widerstandsfähig ist. Selbst auf verdünnten Lösungen von Salzen siedelt er sich noch an, wie auf Kupfersulfatlösungen oder solchen arseniger Säure, wie wir wiederholt beobachten konnten.

Köpfchenschimmel (Mucor mucedo).

Fast ebenso verbreitet wie Penicillium glaucum ist der Köpfchenschimmel. Er siedelt sich auf Nahrungsmitteln, wie

Brot und Fleisch, dann aber auch auf Getreide und Malz, auf Hefe rc. an, besonders gut gedeiht er auf Pferdemist. Sein Myzel ist weiß bis grau.

Fig. 3 zeigt die Entwicklungsstadien dieses Pilzes. Nach Brefeld bildet er ein glashelles Myzel, das sich sehr stark verästelt und in den ersten Entwicklungsstadien, also bis zum Eintritte der Sporangienbildung, einzellig ist. Das Myzel sendet einfache Äste empor, an deren Spitze durch Ausbildung einer Scheidewand das Sporangium vom Sporangienträger abgetrennt wird. Die Scheidewand wölbt sich dann nach oben und bildet die „Columella“ (Säulchen), wodurch ein kugelförmiges Gebilde entsteht, in dessen Innern sich aus dem Protoplasma die Sporen bilden, die sich mit einer Membran umgeben. Sobald die Sporen reif geworden sind, platzt nach vorhergehender Wasseraufnahme das Sporangium und die Sporen treten aus. Gelangen die Sporen zur Keimung, so entsenden sie einen oder zwei Keimfäden, aus denen sich dann rasch das Myzel entwickelt. Außer dieser Art der Vermehrung zeigt Mucor mucedo auch die Zygosporenbildung (siehe S. 34), die ebenfalls durch die Abbildung veranschaulicht wird.

Auch Gemmenbildung ist sehr häufig, doch verläuft die weitere Entwicklung der Sporen und der Gemmen verschieden, je nachdem Luft ungehinderten Zutritt findet oder Sauerstoffmangel herrscht. Im ersten Falle bildet sich, wie oben beschrieben wurde, ein normales Myzel, im zweiten kommt es zur Bildung von Mucor- oder Kugelhefe, in die sich auch das normal entwickelte Myzel umwandeln kann.

Mucor amylomyces.

Diese Mucorart zeichnet sich durch ihren hohen Gehalt an einem diastatischen, die Stärke verzuckernden Enzyme aus, dessen Wirkung bei einer Temperatur von 35 bis 38° am kräftigsten ist. Sie wurde von Calmette im Jahre 1892 aus der sogenannten „chinesischen Hefe“ isoliert, diese ist ein Gemenge von Reismehl, Gewürzen und Reisschalen und dient in China und in den angrenzenden Ländern zur Darstellung einer vergorenen Flüssigkeit. Zu diesem Zwecke wird die chinesische Hefe gedämpftem Reis zugesetzt. Das diastatische

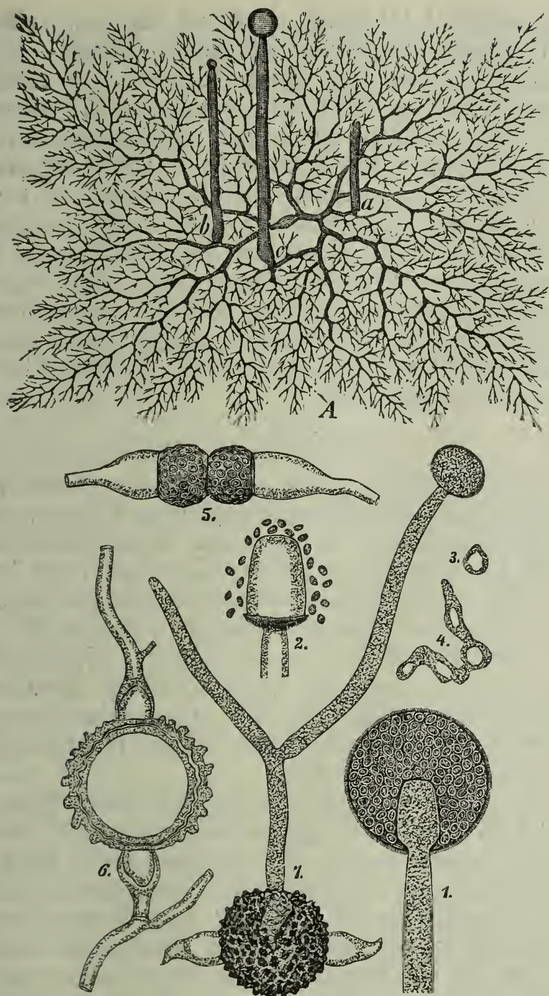


Fig. 3. Mucor mucedo nach Brefeld und Kny. A Baumartig verzweigtes Myzel mit einzelnen dickeren, aufrechtstehenden Ästen (a, b, c). 1. Sporangium, 2. Columella und Sporen, 3. u. 4. keimende Sporen, 5. u. 6. Entwicklung der Zygospore, 7. keimende Zygospore mit Sporangium.

Enzym verflüssigt die Stärke, es bildet sich Zucker und dieser geht in Gärung über, wobei sich Alkohol bildet.

Auf der Verwendung dieses Schimmelpilzes beruht das Amyloverfahren, das von Collette und Boidin ausgebildet wurde. Man verflüssigt in großen, geschlossenen Behältern zunächst Stärke und setzt dann unter Abschluß der Luft eine Kultur von Mucor amylomyces zu, worauf er die Verzuckerung besorgt. Dann wird der Zucker durch eine geeignete Hefenart vergoren. Die Vergärung des Zuckers würde Mucor amylomyces zwar ebenfalls besorgen, doch würde dieser Vorgang nur sehr langsam verlaufen. Die Mucorarten sind zwar fast durchwegs kräftige Alkoholgärungspilze, doch vermögen sie, im Vergleiche mit Hefe, nur geringe Mengen Alkohol zu erzeugen und zu vertragen.

Aspergillus glaucus.

Aspergillus bildet graue oder graugrüne Überzüge, besonders günstige Entwicklungsbedingungen findet er oft auf Grünmalz. Das Myzel ist jenem von Penicillium sehr ähnlich, auch die Vermehrung vollzieht sich ähnlich wie dort.

Die Aspergillusarten produzieren durchwegs sehr kräftige Enzyme, und zwar Diastase, Invertase, welche Rohrzucker spaltet, Maltase und ein die Eiweißstoffe lösendes Enzym. Einige interessante und auch technisch wichtige Arten wurden in Japan aufgefunden. So dient Aspergillus Oryzae zur Bereitung des Reisweines (Sake). Jörgensen beschreibt die Sakebereitung folgendermaßen:

Die von den Hülsen befreiten Reiskörner werden gedämpft; doch wird ein Zusammenballen und Verkleistern der Körner zu vermeiden sein. Um nun aus diesen nicht keimfähigen Körnern, bei welchen folglich die gewöhnliche Diastasewirkung angeschlossen ist, ein für das Brauen dienliches Malz herzustellen, vermischt man die Körnermasse mit Reiskörnern, welche mit dem Myzel und den Konidienträgern des Aspergillus Oryzae umsponnen und überzogen sind, oder man mischt die gelbgrüne Sporenmasse („Tane-Koji") des Pilzes mit den gedämpften Reiskörnern. In der feuchten und warmen Luft entwickelt sich nach 5 Tagen auf dem Reis

ein weißes, samtartiges Myzel, welches der Masse einen angenehmen Geruch nach Äpfeln oder Ananas verleiht. Ehe die Fruktifikation des Pilzes eintritt, fügt man neue Massen von gedämpftem Reis hinzu, welche auch vom Myzel umsponnen werden und wiederholt dies mehrere Male. In der jetzt erzeugten „Koji"-Masse ist ein Teil der Stärke umgebildet worden und einige der früher in Wasser unlöslichen Albuminstoffe sind löslich gemacht. Die Kojimasse wird kalt gemaischt, indem man z. B. 21 Teile Koji und 68 Teile mit Dampf gekochten Reises mit 72 Teilen Wasser vermischt. Diese breiige Masse („Moto") wird, sich selbst überlassen, bei etwa 20° nach wenigen Tagen klar, die Verzuckerung der Stärke und Dextrine schreitet immer weiter fort und gleichzeitig tritt eine spontane, sehr heftige alkoholische und milchsaure Gärung ein. In dieser Gärung tritt unter anderem ein Saccharomyces auf, welcher eine sehr bedeutende Menge Alkohol erzeugen kann. Die Masse wird jetzt bis auf etwa 30° erwärmt, nach 2 bis 3 Wochen ist die Hauptgärung beendet. Das filtrierte Produkt wird einer Nachgärung unterworfen und man erhält eine gelbe, blanke, sherryähnliche Flüssigkeit mit einem Gehalte von 13 bis 14 Prozent Alkohol. Diese wird oft bei 50 bis 70° in eisernen Kesseln pasteurisiert.

Nach O. Kellner spielt Aspergillus Orizae auch bei der Zubereitung des japanischen Shoyu oder Soja eine hervorragende Rolle. Dazu wird ein Koji angewendet, welcher aus einer Vegetation dieses Pilzes auf einem Gemenge von gekochten Sojabohnen (Soja hispida) und gebranntem, zerkleinertem Weizen besteht; der Koji wird mit Kochsalz und Wasser bei 45° gemischt und dann der Gärung überlassen, die bis zu einem Jahre andauern kann. Während dieser Zeit nimmt die Masse nach und nach eine tief rotbraune Farbe und einen angenehmen, aromatischen Geruch an. Sie wird dann in kleinen Säcken gepreßt, aus denen eine fast klare Flüssigkeit hervorfließt; diese wird weiter geklärt und bei 50° pasteurisiert. Bei der Gärung bilden sich vorzugsweise Milchsäure und Alkohol und in diesem gelöste, aromatisch riechende und schmeckende Substanzen.

Andere, zur Gattung Aspergillus gehörende Arten dienen zur Bereitung der chinesischen Soja und des „Tao-Tjiung“ (Bohnenbrei), dann aber auch zur Darstellung des japanischen Batatenbranntweines, wobei die Verzuckerung der in den Batatenknollen enthaltenen Stärke durch das von einer besonderen Aspergillusart abgeschiedene Enzym bewirkt wird.

Milchschimmel (Oidium lactis).

Der Name dieses Pilzes stammt daher, weil er fast regelmäßig auf Milch anzutreffen ist. Doch siedelt er sich auch auf anderen zuckerhaltigen Flüssigkeiten an und vermag wenig Alkohol zu bilden.

Besondere Bedeutung scheint Oidium lactis für den Reifungsvorgang mancher Käsesorten zu besitzen, so besonders für den Camembert. Seine Wirkung dürfte darin bestehen, daß das Oidium die von Milchsäurebakterien gebildete Milchsäure verzehrt und dadurch die Tätigkeit peptonisierender Bakterien einleitet.

Oidium Tuckeri.

Dieser, auch unter dem Namen Erysiphe Tuckeri bekannte Pilz, der „echte Mehltau“, tritt auf dem Weinstocke auf. Er befällt sowohl die Blätter und Triebe, auf denen er weißliche Flecken bildet, wie auch die Traubenbeeren. Das Myzel breitet sich auf den Früchten aus, überzieht sie mit einem grauen Anfluge und tötet die Zellen der Oberhaut. Diese vermag dann dem Wachstume der Beere nicht mehr zu folgen, die Beere platzt und geht häufig in Fäulnis über. Tritt das Oidium erst auf schon ausgewachsenen Trauben auf, so ist die Wirkung weniger nachteilig, doch zeichnen sich die aus oidiumkranken Trauben bereiteten Weine meist durch einen abnorm hohen Säuregehalt aus.

Oidium Tuckeri kann ein gefährlicher Feind des Weinbaues werden, doch bildet das Bestäuben der Blätter und Trauben mit sehr feinem Schwefelpulver ein sicher wirkendes Abwehrmittel, sofern man es rechtzeitig und bei sonnigem Wetter anwendet. Wird jedoch das Auftreten des Oidiums

übersehen oder wird mit der Einleitung der Bekämpfung zu lange gewartet, so kann dieser Schimmelpilz empfindlichen Schaden anrichten.

Botytris cinerea.

Dieser zu den Becherpilzen (Pezizaceae) gehörende, auch unter dem Namen Sclerotinia Fuckeliana bekannte Schimmelpilz ist in der Natur sehr verbreitet und wird auf allen verwesenden Pflanzenteilen beobachtet. Besondere Bedeutung besitzt er für die Weinbereitung; auf den Reben tritt Botrytis cinerea sowohl auf den Blättern, wie auf den Trauben auf. Seine Wirkung ist dann, je nach dem Reifestadium, in dem er die Traube befällt, teils ungünstig, teils günstig und erwünscht.

Siedelt sich der Pilz auf unreifen Trauben an, so wird dadurch ihre weitere Entwicklung gehemmt und es entstehen die „rohfaulen" Beeren. Auf reifen Traubenbeeren ruft Botrytis dagegen die „Edelfäule" hervor, welche nach Müller-Thurgau die Grundbedingung für die Erreichung der höchsten Konzentration des Traubensaftes bildet, gleichzeitig veranlaßt sie auch das Auftreten eigenartiger, wertvoller Bukettstoffe, vor allem des sogenannten Sherrybuketts. Seine Wirkung ist darauf zurückzuführen, daß er die in dem Traubensafte enthaltene Säure verzehrt und gleichzeitig die Bälge so morsch macht, daß Wasser aus dem Traubensafte verdunsten kann. Dadurch wird der Saft konzentriert und der Zuckergehalt wesentlich gesteigert.

Falscher Mehltau (Peronospora viticola).

Ebenfalls auf den Blättern und Früchten der Weinrebe tritt der falsche Mehltau, meist kurzweg „Peronospora" genannt, auf. Er bildet dichte, hohe, weißliche Flecken auf den Blättern und Beeren und wirkt dadurch schädigend, daß er das Laub zum Absterben bringt, von ihm befallene Beeren schrumpfen ein oder gehen in Fäulnis über. Dies wirkt natürlich auch auf die Zuckerbildung zurück, derart, daß Weine, die aus Jahrgängen, in denen die Peronospora sehr stark auftritt, stammen, meist einen sehr hohen Säuregehalt besitzen.

Doch auch gegen die Peronospora gibt es ein vortreffliches Bekämpfungsmittel, dessen Wirkung nie versagt, wenn es rechtzeitig und richtig angewendet wird. Es besteht im Besprengen mit der als Bordelaiser Brühe bekannten Mischung von Kupfervitriol und Kalkhydrat, die jedoch nach jedem stärkeren Niederschlage wiederholt werden muß, weil die Masse durch den Regen abgewaschen wird.

Die Konidienträger des Pilzes treten aus den Spaltöffnungen der Blätter und jungen Beeren büschelartig hervor. In den Konidien bilden sich meist 5 bis 6 Schwärmsporen, die, sobald die Konidien feucht werden, austreten und dann zur Weiterverbreitung der Krankheit Anlaß geben. Dadurch ist es auch zu erklären, daß die Peronospora meist nach feuchtem Wetter in großem Umfange aufzutreten pflegt.

Zitronensäure-Schimmelpilz (Citromyces).

Die Gattung Citromyces ist dadurch interessant, daß dieser Pilz Zucker in Zitronensäure umzuwandeln vermag, er fand zu diesem Zwecke auch schon technische Verwendung. Nach Henneberg kann er sehr leicht erhalten werden, wenn man eine mit Zitronensäure angesäuerte Flüssigkeit, wie z. B. Würze, längere Zeit der Luft aussetzt. Die drei Vertreter der Gattung Citromyces (C. Pfefferianus, glaber und citricus) finden sich vor allem auf sauren Früchten.

Der Pilz vermag bis zu 8 Prozent Zitronensäure zu bilden, die entstehende Menge ist größer und die Bildung geht rascher vonstatten, wenn man die Säure durch Zusatz von Kreide neutralisiert. Läßt man den Pilz längere Zeit einwirken, so wird die Zitronensäure wieder zu Kohlensäure und Wasser verbrannt. Nach Wehmer sind bei der technischen Verwendung dieses Pilzes Infektionen durch andere Pilze, sowie Schwankungen im Säuerungsvermögen sehr lästig. Dies bedingte auch, daß eine Verwendung in größerem Umfange bisher nicht durchgeführt worden ist.

Hefepilze.

Wir gelangen nunmehr zur Erörterung jener Gattung von Pilzen, die technisch die größte Wichtigkeit und Bedeutung besitzen. Dies sind die eigentlichen Hefepilze oder Saccharomyceten.

Es wurde schon darauf verwiesen, daß man früher, als die Kenntnis der Gärungsorganismen noch wenig ausgebildet war, alle durch Mikroorganismen verursachten Zersetzungen und Veränderungen als „Gärung", alle Organismen, die dabei beteiligt sind, als „Hefe" bezeichnete. Mit der fortschreitenden Erkenntnis der Arten und besonders mit der Ausbildung der technischen Mykologie hat sich der Begriff „Hefe" jedoch immer mehr spezifiziert und heute wendet man ihn ausschließlich für jene Klasse der Pilze an, welche eine kräftige Alkoholgärung hervorzurufen vermögen.

Wie wir schon dargelegt haben, ist die Fähigkeit, Alkohol zu bilden, durchaus keine besondere, einzig und allein den Saccharomyceten zukommende Eigenschaft. Auch Schimmelpilze wie Bakterien können Alkohol erzeugen, wie sich auch morphologisch zwischen Schimmelpilzen und Hefen viele Übereinstimmungen zeigen und eigentliche feste Grenzen nicht gezogen werden können. Bei den Schimmelpilzen geht die Sporenbildung oft in der Weise vonstatten, daß die Myzelfäden durch Querwände geteilt werden, worauf sich ein Sproßmyzel dadurch bildet, daß eine Ausstülpung gebildet wird, die sich endlich von der Mutterzelle loslöst. Jene Pilze nun, die sich durch Sprossung vermehren und welche gleichzeitig auch die Fähigkeit besitzen, im Innern der Mutterzelle Sporen zu bilden, werden als Saccharomyceten bezeichnet. Wir haben somit bei den Hefen zwei Vermehrungsvorgänge zu unterscheiden, die Vermehrung durch Sprossung und durch endogene Sporenbildung. Jene Pilze, die sich nicht durch Sprossung, sondern nur durch Teilung der Querwände vermehren, bilden die Gruppe der Schizomyceten. Eine Mittelstellung nehmen die Schizosacharomyceten ein. Die Torulaformen endlich, mit denen wir uns ebenfalls zu be-

schäftigen haben werden und die technisch dadurch wichtig sind, daß sie viele schädliche Formen, sogenannte „wilde Hefen“ umfassen, wurden deshalb in eine besondere Gruppe der „fungi imperfecti” eingereiht, weil man bei ihnen die Sporenbildung noch nicht nachweisen konnte. Dies schließt natürlich nicht aus, daß sie ebenfalls Sporen bilden, doch unter Bedingungen, die bisher unbekannt sind. Der Ausdruck „fungi imperfecti” — unvollkommene Pilze — bezieht sich daher durchaus nicht auf diese Formen, sondern nur auf unsere Kenntnis derselben.

Gleich den Schimmelpilzen und den Spaltpilzen sind auch die Hefepilze (Sproßpilze) in der Natur ungemein häufig. Man braucht nur eine zuckerhaltige Flüssigkeit der Luft auszusetzen und sie wird alsbald in durch Hefepilze hervorgerufene alkoholische Gärung übergehen. Manche Hefen leben als Schmarotzer auf vielen Pflanzen, so ist beispielsweise die Weinhefe stets auf allen oberirdischen Teilen der Rebe aufzufinden. Besonders zahlreich kommt sie auf den Trauben vor, werden diese gemaischt, so enthält daher auch die Maische schon eine so große Anzahl lebenskräftiger Hefezellen, daß sie alsbald in lebhafte Gärung gerät.

Eine charakteristische Eigenschaft der Sproßpilze besteht darin, daß sie ein sehr kräftiges Gärungsvermögen besitzen, d. h. Zucker in Alkohol und Kohlensäure spalten. Nur ein Sproßpilz macht nach dieser Richtung eine Ausnahme, dies ist die als „Kahmpilz“ (Mykoderma) bekannte Form. Er bildet dünne, durchscheinende Häutchen auf Flüssigkeiten, die neben Alkohol auch Essigsäure und Eiweißkörper enthalten, wie beispielsweise zu junger Wein, Bier u. dgl. Manche Mykodermaarten besitzen allerdings auch ein ganz schwaches Vermögen, Alkohol zu bilden, das bemerkenswerte an ihnen besteht aber gerade darin, daß sie Alkohol und Essigsäure zu Kohlensänre und Wasser zu oxydieren vermögen.

Für die Technik besitzen die Hefepilze die allergrößte Bedeutung; denn auf ihrer Tätigkeit beruhen vor allem die Gärungsgewerbe. Die den Schimmelpilzen und den Bakterien angehörenden Formen spielen doch nur eine minder wichtige Rolle, wenn auch einzelne Gärungsgewerbe, wie beispiels=

weise die Essigfabrikation, ganz auf sie angewiesen sind oder wenn sie auch oft als lästige, störende Organismen auftreten.

Die Anzahl der heute bekannten Hefen ist ungemein groß und ein eingehendes Studium ihrer Eigenschaften hat gezeigt, daß ihre Eigenschaften durchaus nicht gleich sind. Während man ursprünglich zu den verschiedenen technischen Zwecken Hefe benutzte, wie sie sich aus dem Betriebe ergab, hat man später erkannt, daß in diesen Fällen durchaus nicht eine einzige Art oder Rasse verwendet wurde, sondern Gemenge verschiedener Rassen, die mit verschiedenen, teils günstigen, teils schlechten Eigenschaften begabt sind. Das Gärungsprodukt war somit stets die Resultierende aus dem Zusammenwirken einer großen Anzahl verschiedener Mikroorganismen, unter denen allerdings durch verschiedene äußere Einflüsse stets gewisse Arten besonders begünstigt wurden und sich daher besonders stark entwickelten.

Die Erkenntnis, daß wir es in allen solchen Fällen mit zahlreichen Rassen zu tun haben, verdanken wir Hansen, er hat auch den Weg gezeigt, die Rassen zu trennen und einzeln weiter zu züchten. So gelang es, die nützlichen, wertvollen Formen von den minder wertvollen und den schädlichen zu trennen. Man gelangte dadurch zu Reinkulturen im vollsten Sinne des Wortes, also zu Kulturen, die nur eine einzige Heferasse enthalten. Von diesen verwendete man für die verschiedenen Gärungsgewerbe solche, die für den besonderen Zweck besonders geeignet sind, und erzielte dadurch nicht nur höhere Ausbeuten und bessere Produkte, sondern man war dadurch auch in der Lage, unliebsame Nebengärungen, Schädigungen durch andere Mikroorganismen, ganz auszuschalten. Dem eingehenden Studium der Lebensbedingungen der Hefepilze einerseits, der anderen Gärungsorganismen anderseits verdanken wir es ferner, daß man auch die Mittel und Wege erkannte, um die Entwicklung anderer Formen zu unterdrücken, ohne gleichzeitig die Tätigkeit jener Rasse, die vor allem zur Geltung kommen soll, einzuschränken oder zu hemmen. In vielen Fällen gelang dies durch Züchtung und Anpassung bestimmter Rassen.

Wir sehen somit — und dies wird später noch deutlicher zum Ausdrucke kommen — daß wir unter „Hefe" heute kaum mehr das verstehen können, was darunter noch vor wenigen Jahrzehnten verstanden werden mußte. Botanisch hat der Begriff allerdings keine Veränderung erfahren, praktisch jedoch insofern, als das Wort „Hefe" heute nicht mehr einen Sammelnamen für zahlreiche Rassen bedeutet, sondern daß wir heute darunter stets immer nur eine wohl definierte Form mit ganz besonderen und wohlumschriebenen Eigenschaften verstehen, die auch in unzähligen Generationen erhalten bleiben, wenn gewisse Bedingungen eingehalten werden. Dadurch war es möglich, von einer einzigen Hefezelle ausgehend, eine Rasse Jahre hindurch fortzuzüchten und in Reinkulturen mit unveränderten Eigenschaften an Brennereien, Hefefabriken, Brauereien ꝛc. hinauszugeben.

1. Bau und Vermehrung der Hefe.

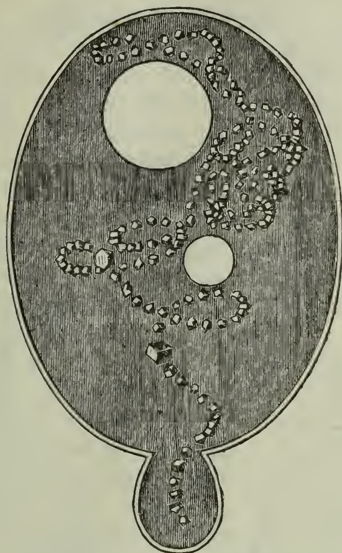
Gleich den Zellen der Schimmelpilze sind auch die Hefezellen von einer Membran umgeben. Die Form der Zellen ist äußerst verschieden, wir finden kugelförmige, eiförmige, wurstförmige, ellipsoidische, fadenförmige Zellen ꝛc. neben solchen, die einer Zitrone gleichen oder hantelartig geformt sind.

Die Bedingungen, unter denen die Hefe lebt, nehmen sehr großen Einfluß auf die Gestalt der Zellen und dann tritt auch die Mehrzahl der Zellen einer Art immer mit der gleichen Gestalt auf, wenn sie unter gleichbleibenden Bedingungen gezüchtet wird. Ändert man aber diese Bedingungen, so ist damit zumeist eine eingreifende Änderung der Gestalt verbunden. Unter bestimmten Züchtungsverhältnissen kann somit auch die Gestalt Anhaltspunkte für die Bestimmung der Art bilden.

Im Innern der Hefezellen befindet sich das Protoplasma, in dem sich perlenschnurartig angeordnete Gebilde unterscheiden lassen, sie bestehen aus Körnchen, die oft eine eckige Form besitzen (Fig. 4). Das Protoplasma besteht aus einem feinen Netzwerke, das jedoch während des Gärungsvorganges oft sein Aussehen ändert, es zieht sich zusammen, wobei sich

Hohlräume, Vakuolen bilden; auch Tröpfchen von Fett und Öl sind oftmals eingebettet.

Oft enthalten die Vakuolen ein bis drei kleine, stark lichtbrechende Körnchen, die Vakuolenkörnchen, die sich in lebhafter Molekularbewegung befinden. Sie werden sichtbar, wenn man die Zellen mit einer dünnen, wässerigen Lösung von Neutralrot (1 : 5000) färbt. An Zuckerlösung geben sie den Farbstoff wieder sehr leicht ab.


Fig. 4. Hefezelle 5000fach vergrößert.

Jede Hefezelle enthält ferner einen Zellkern, der kugelförmig, seltener scheibenförmig ist. Unter dem Mikroskope ist er nicht unmittelbar sichtbar, sondern er tritt erst hervor, wenn die Zellen einer geeigneten Behandlung (Härtung und Färbung) unterworfen werden. Der Vermehrung einer Zelle, einerlei ob sie durch Sprossung oder durch Sporenbildung erfolgt, geht stets eine Teilung des Zellkernes voraus.

Die Größe der Hefezellen unterliegt ziemlich bedeutenden Schwankungen. Manche Zellen sind klein, wie die vieler Torulaarten, Exiguus- und Apikulatushefen, die Kulturhefen und die Kahmhefen sind dagegen weit größer. Auch die Größe der Zellen wird in hohem Grade von den Ernährungsverhältnissen beeinflußt, besonders wirkt die Säure der Maischen nach dieser Richtung ein, indem sich in stark sauren Maischen kleinere Zellen ausbilden. Kulturhefen messen zumeist etwa 7 : 5 μ, wilde Hefen dagegen meist nur 2 : 4 μ. Auf die Größe der Zellen nimmt auch der Ernährungszustand großen Einfluß, derart, daß gut ernährte, kräftige Hefe meist auch größere Zellen

besitzt. Dies ist erklärlich, denn eine kräftige Hefe ist prall, die Zellhaut ist straff gespannt. Mit schlechter Ernährung und ganz besonders mit dem Absterben der Zellen ist dagegen eine Schrumpfung verbunden, der in den Vakuolen enthaltene Zellsaft vermag dann die Membran zu durchdringen, das Protoplasma zieht sich zusammen und das Volumen der Zelle wird geringer.

Die Zellhaut (Membran) besteht, wie bei den Schimmelpilzen, aus Pilzzellulose. An jungen Zellen ist sie verhältnismäßig dünn und zart, je älter die Zelle wird, desto stärker und dicker wird die Zellhaut. Besonders in sehr extraktreichen Nährlösungen verdickt sie sich stark. Wahrscheinlich besteht die Membran aus zwei oder mehreren Schichten, die durch anhaltende Behandlung mit 1prozentiger Osmiumsäure sichtbar gemacht werden können. In konzentrierter Chromsäure ist die Zellhaut leicht, etwas schwieriger in konzentrierter Schwefelsäure löslich. In konzentrierter Kali- und Natronlauge schwillt sie an und wird durchscheinend.

Eine besondere Entwicklungsform der Membran der Hefezellen bildet das zuerst von Hansen beobachtete gelatinöse Netzwerk. Unter bestimmten, jedoch noch nicht näher bekannten Ursachen vereinigen sich nämlich die durch Sprossung entstehenden Kolonien zu unregelmäßigen Klumpen, welche rasch zu Boden sinken. Unter dem Mikroskope zeigt sich dann dieses Netzwerk in Gestalt von Strängen und Platten, zwischen denen die Zellen eingelagert sind. Solche gelatinöse Netzwerke können leicht erhalten werden, wenn man einen Klumpen dicker Hefe in einem Glase langsam eintrocknen läßt, oft wird sie auch in Sporenkulturen auf Gipsblöcken, auf Gelatine und in Heferingbildungen beobachtet.

Die Vermehrung der Hefezellen vollzieht sich auf zwei Arten: durch Sprossung und durch Sporenbildung. Die Sprossung vollzieht sich derart, daß sich an der Mutterzelle zunächst eine kleine Ausstülpung bildet, die rasch wächst, sich durch Bildung einer Scheidewand von der Mutterzelle abtrennt und ihr schließlich an Gestalt und Aussehen ganz gleich ist. Haften die Mutter- und Tochterzellen aneinander, so bilden sie einen „Sproßverband“ (Fig. 5 c, d). Durch die

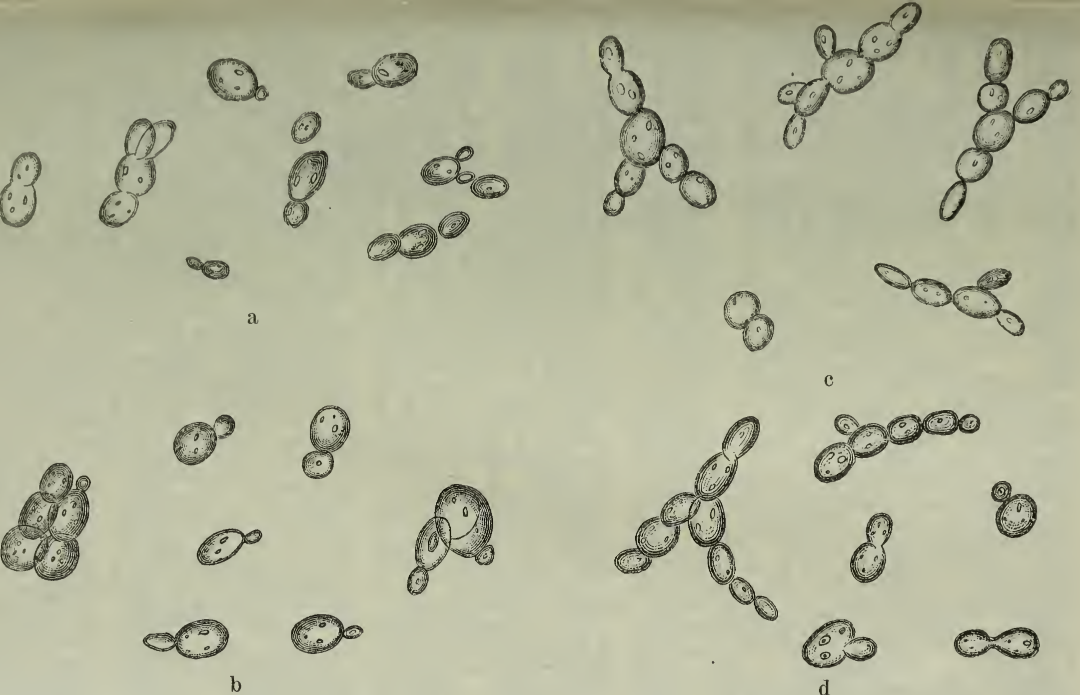


Fig. 5. Formen von Saccharomyces cerevisiae. a Unterhefe während der Hauptgärung; b Unterhefe während der Nachgärung; c Oberhefe aus Bierwürze; d aus gärender Branntweinmaische.

bei der Gärung auftretende Kohlensäure werden jedoch diese Sproßverbände zerrissen und die einzelnen, nun frei gewordenen Zellen bilden neue Kolonien.

Die Kulturhefen zerfallen in zwei, voneinander jedoch nicht scharf abgegrenzte Typen, die man als „Unterhefen“ und „Oberhefen“ bezeichnet. Der Name stammt daher, weil sich die Unterhefen während der Gärung auf dem Boden des Gefäßes absetzen, die Oberhefen werden während der Gärung dagegen zum größten Teil an die Oberfläche der gärenden Flüssigkeit emporgerissen und bilden hier auf dem Schaume eine dicke Hefeschicht. Ist die Gärung beendet, so sinkt die Hefe wieder zu Boden und bildet einen mehr oder minder festliegenden Bodensatz.

Die einzelnen Hefearten unterscheiden sich auch durch ihr Verhalten bei der Sprossung. Denn die Eigenschaft, Sproßverbände zu bilden, kommt nicht allen Hefearten zu, bei manchen Rassen trennen sich die Tochterzellen ziemlich bald von den Mutterzellen ab, dies ist z. B. bei manchen Torulahefen der Fall, die sich deshalb auch staubartig in der gärenden Flüssigkeit verteilen. Manche Kahmhefearten bilden dagegen sehr fest zusammenhängende Sproßverbände.

Dieses Verhalten der Hefearten besitzt hohe praktische Bedeutung, weil Hefearten mit fest zusammenhängenden Sproßverbänden leicht sich klärende Flüssigkeiten liefern. Obergärige Hefen, die in festen Sproßverbänden zusammenhaften, sinken nach Beendigung der Gärung auch leichter zu Boden. Untergärige Hefen bilden im allgemeinen keine festen Sproßverbände und doch setzen sie sich rasch zu Boden. Dies hängt damit zusammen, daß untergärige Hefen klebrige Zellhäute besitzen, welche das Zusammenballen der Zellen bewirken.

Damit steht auch die Art des Bodensatzes der Hefe und die Hautbildung auf der Flüssigkeitsoberfläche im engsten Zusammenhange. Unterhefen liefern einen festen, dicht zusammenhaltenden Bodensatz, während er bei Oberhefen lockerer ist. Die Hautbildung auf der Flüssigkeitsoberfläche tritt auch verschieden rasch ein. Am schnellsten entsteht sie bei den Kahmhefen, meist schon nach 24 Stunden, dagegen erst nach einigen Tagen bei den Oberhefen und am spätesten bei den Unter-

hefen. Auch die Festigkeit der Häute ist nicht gleich. Die Kahmhefen liefern eine dichte, ziemlich widerstandsfähige und in großen Stücken zu Boden sinkende „Kahmhaut“, während die „Rahmhäute“ der Kulturhefen lockerer und minder fest sind und sich leicht wieder verteilen.

Die zweite Art der Vermehrung der Hefezellen erfolgt durch Sporenbildung. Dann entstehen in der Mutterzelle zumeist ein bis vier neue Zellen, die meist gleich groß sind. Die Sporen bestehen ebenso wie die vegetativen Zellen aus einer Membran, welche das Protoplasma und den in diesem eingebetteten Zellkern umschließt. Schließlich zerreißt die Membran der Mutterzelle oder sie wird gesprengt, und nun können die Sporen austreten. Ehe sie keimen, vergrößert sich durch Wasseraufnahme ihr Volumen sehr bedeutend. Die Spore bildet dann wieder vegetative Zellen, die sich durch Sprossung vermehren.

Die Sporenbildung tritt nur bei reichlichem Luftzutritte ein, Hansen faßt seine Untersuchungen über die Sporenbildung dahin zusammen, daß junge kräftige Zellen, wenn sie in eine dünne Wasserschicht, zu der die Luft reichlich Zutritt findet, gebracht werden, sich zunächst durch Sprossung zu Kolonien entwickeln. Dann erst tritt die Sporenbildung ein, und zwar in der Weise, daß sie zuerst in der Mutterzelle der Kolonie beginnt und dann bis in die jüngsten Glieder der Kolonie fortschreitet.

Die Sporenbildung ist übrigens keine Eigenschaft, die irgendeine besondere Bedeutung besitzt. Denn man kennt beispielsweise untergärige Kulturhefen, die keine Sporen bilden, während anderseits aus sporenbildenden Formen neue Rassen gezüchtet werden konnten, die ebenfalls die Fähigkeit, Sporen zu bilden, ganz verloren haben. Auch für die Praxis der Gärungsgewerbe besitzt die Sporenbildung keine Bedeutung, weil die Hefen im Betriebe fast niemals unter Bedingungen kommen, die zur Sporenbildung führen.

Die Bedeutung der Sporenbildung liegt jedoch auf einem anderen Gebiete. Wie alle Sporen, sind auch die der Hefe weit widerstandsfähiger und wir müssen daher in der Sporenbildung ein Hilfsmittel der Natur erblicken, um die Art zu

erhalten. Im wilden Zustande leben die Hefezellen auf Früchten, wo sie sich ungehindert durch Sprossung zu vermehren vermögen. Im Herbst werden die Zellen dann durch den Regen in den Boden gespült, wo sich keine günstigen Ernährungsbedingungen mehr vorfinden. Hier bilden sich dann die Sporen, die durch den Wind oder durch Insekten wieder vertragen werden, zur Zeit der Fruchtreife neuerdings auf Früchte gelangen und hier sich wieder normal, d. h. durch Sprossung vermehren.

2. Die Ernährung der Hefe.

Ehe wir auf die Ernährungsverhältnisse der Hefe eingehen, müssen wir ihre chemische Zusammensetzung kennen lernen. Wie alle organisierten Gebilde enthält auch die Hefe eine ansehnliche Menge Wasser, die bei frisch abgepreßter Hefe rund 70 bis 75 Prozent beträgt. Doch ist bemerkenswert, daß dieses Wasser nicht als ganz unentbehrlicher Bestandteil — wenigstens nicht in der eben angegebenen Menge — angesehen werden kann. Denn durch langsames Trocknen läßt sich der Wassergehalt der Hefe auf 15 bis 20 Prozent vermindern, ohne daß sie zugrunde geht. Allerdings ist dies nur dann zu erzielen, wenn sie sehr langsam, bei niederer Temperatur und unter stetem Luftwechsel getrocknet wird.

Die Trockensubstanz der Hefe besteht aus 8 bis 10 Prozent unverbrennlichen Anteilen (Asche, beziehungsweise Salzen) und 90 bis 92 Prozent organischer Substanz. In der Asche ist stets Phosphorsäure und Kalium, ferner Magnesium, Eisen und Schwefel enthalten, auch Natrium und Kalzium kann meist nachgewiesen werden, ist jedoch allem Anscheine nach für die Ernährung gegenstandlos.

Die organische Substanz zeichnet sich durch einen bedeutenden Reichtum an Stickstoff aus. Doch ist der Stickstoffgehalt nicht immer gleich, sondern schwankt sehr bedeutend, je nach dem Stickstoffreichtum der Flüssigkeit, in der die Hefe sich entwickelt hat. Die Grenzen des Stickstoffgehaltes kann man mit 5 bis 12 Prozent annehmen. Unter den stickstoffhaltigen Bestandteilen der Hefe spielen die Eiweißverbindungen eine wichtige Rolle und unter diesen wieder die den Zellkern bildenden phosphorhaltigen Nukleine.

Zu den stickstofffreien Verbindungen der Hefe gehört zunächst die die Membran bildende Pilzzellulose, ferner Glykogen und Fett. In den Zellen tritt das Fett in Gestalt zahlreicher runder Fetttröpfchen auf, die sich jedoch nach dem Tode der Zelle zu einem größeren Tröpfchen vereinen.

Auch die Enzyme, mit denen wir uns später noch eingehend zu befassen haben werden, sind stickstoffhaltige, zur Gruppe der Eiweißkörper gehörende Verbindungen.

Nach Untersuchungen von Heinzelmann enthielten zwei nach dem Lüftungsverfahren gezüchtete Hefen (Rasse II und XII):

	Rasse II	Rasse XII
	in Prozenten	
Wasser	76·7	73·7
Trockensubstanz	23·3	26·3
In der Trockensubstanz:		
Asche	9·90	8·13
Stickstoffhaltige Stoffe	43·34	50·28
Stickstofffreie Stoffe	46·76	41·59
In 100 Teilen Asche:		
Phosphorsäure	54·41	52·72
Kali	0·95	0·60
Magnesia	4·86	4·79

Einen Überblick über die stickstoffhaltigen Verbindungen der Hefe geben Untersuchungen von Stutzer, er fand in der Trockensubstanz:

	Prozent
Gesamtstickstoff	8·648
Eiweißstickstoff	7·773
Nukleinstickstoff	2·257

Somit bestanden 100 Teile Stickstoff aus:

10·11 Prozent Stickstoff in Form von Amiden und Peptonen,
63·80 " " " " " Eiweiß,
26·09 " " " " " Nuklein.

Der chemischen Zusammensetzung der Hefe ist übrigens früher viel zu große Bedeutung beigelegt worden, weil man

glaubte, daraus besondere Schlüsse auf ihre Ernährung, Entwicklung 2c. ziehen zu können. Zum Teil ist dies ja richtig und die chemische Untersuchung hat uns manchen wertvollen Fingerzeig gegeben, doch spielen andere Momente, besonders die Art der Verbindungen, welche der Hefe geboten werden, eine viel größere Rolle, als der Nachweis ihres Gehaltes an Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff 2c.

Wie alle Lebewesen, wird die Entwicklung der Hefe sehr durch die Temperatur beeinflußt. Wenn auch Hefezellen sehr tiefe und auch verhältnismäßig hohe Temperaturen vertragen können, ohne getötet zu werden, so vollzieht sich doch ihre Vermehrung und die damit verbundene kräftige Gärtätigkeit bei Temperaturen am besten, die verhältnismäßig enge umschrieben sind. Dieses „Temperaturoptimum“ liegt für die meisten Hefearten etwa bei 28 bis 30°, doch ist damit nicht gesagt, daß sie nicht auch bei niederen Temperaturen sich zu vermehren und Zucker zu vergären vermögen. Es ist ja bekannt, daß in der Praxis zumeist bei niederen Temperaturen gearbeitet wird, in der Brauerei sogar bei Temperaturen, die weit tiefer liegen, als angegeben wurde. Unter 0·5° scheinen sich die Hefezellen nicht mehr vermehren zu können, ebenso bei Temperaturen, die wesentlich höher als 30° liegen, doch verhalten sich nach dieser Richtung nicht alle Arten gleich. So fand Hansen die oberste Grenze für verschiedene Arten zwischen 34 und 40°, für Saccharomyces Marxianus sogar zwischen 46 und 47° liegend. Weinhefen vermochten sich nach Müller-Thurgau nicht mehr zu vermehren, sobald die Temperatur 40° erreicht hatte.

Wird nun eine auf tiefere Temperatur abgekühlte zu vergärende Flüssigkeit mit Hefe „angestellt“, so würde die Gärung nur langsam antreten und während dieser Zeit fänden andere, schädliche Mikroorganismen Gelegenheit, sich zu entwickeln. Um dies zu verhindern, wendet man einen Kunstgriff an. Er besteht darin, daß man eine verhältnismäßig große Hefemenge verwendet und sie eventuell vorher durch „Lüften“ zu kräftiger Vermehrung anregt. Durch das Lüften wird auch noch nach einer anderen Richtung die Entwicklung der Hefe begünstigt. Es werden nämlich gewisse Stoffwechselprodukte fortgeschafft und

jede Zelle immer mit neuen Partien der Nährflüssigkeit in Berührung gebracht. Die Stoffwechselprodukte, also jene Stoffe, die sich bei der Gärtätigkeit der Hefe bilden, besonders Alkohol und Kohlensäure, vermögen nämlich ihre Entwicklung zu hemmen, und zwar in um so höherem Grade, je reichlicher sie vorhanden sind. Damit steht die bekannte Wahrnehmung, daß jede Gärung mit der Zeit langsamer verläuft und weniger stürmisch wird, im engsten Zusammenhange. Besonders die Kohlensäure scheint die Vermehrung der Zellen ganz besonders zu hemmen. Da sie nun durch das Lüften verdrängt und entfernt wird, ist die günstige Wirkung dieses Verfahrens erklärlich.

Zum Aufbaue ihres Leibes benötigt die Hefe eine Anzahl Stoffe, die unbedingt vorhanden sein müssen, soll ihre Entwicklung überhaupt möglich sein. Diese Stoffe sind: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, aus denen der organische Teil gebildet wird, und Schwefel, Phosphor, Kalium, Magnesium und Eisen, welche die anorganischen Baustoffe liefern. Doch ist die Form, in der diese Stoffe geboten werden, durchaus nicht gleichgiltig, allerdings sind die Verbindungen, welche zur Ernährung der Hefe tauglich sind, sehr zahlreich.

Die wichtigste Kohlenstoffquelle sind unbedingt die Zuckerarten, neben ihnen können aber auch Milchsäure, Äpfelsäure, Bernsteinsäure und Zitronensäure, dann Glyzerin, Dextrin, Mannit &c. aufgenommen werden. Bei den Zuckerarten ergeben sich allerdings gewisse Ausnahmen, derart, daß das Verhalten der Hefearten gegenüber den Zuckerarten einigermaßen zu ihrer Unterscheidung herangezogen werden kann.

Unter den stickstoffhaltigen Nährstoffen stehen die Peptone und Amide obenan, unter diesen das Asparagin, das besonders reichlich in den Malzkeimen enthalten ist. Ammoniakverbindungen werden zwar ebenfalls aufgenommen, spielen aber lange nicht jene Rolle, wie die Amide. Nitrate (Salze der Salpetersäure) werden von den Kulturhefen überhaupt nicht verarbeitet.

Die Membran der lebenden Hefenzelle hat die Eigenschaft, daß sie gelösten Stoffen den Durchtritt in das Innere der Zelle gestattet, dagegen vermögen gelöste Stoffe aus der Zelle, die zu ihrem Aufbau dienen, so lange sie lebt, nicht nach

außen zu gelangen. Damit steht auch die Notwendigkeit im engsten Zusammenhange, die Nährstoffe der Hefe im gelösten Zustande zu bieten.

Eine zur Ernährung der Hefe taugliche Lösung muß jedoch nicht nur alle oben angeführten Stoffe enthalten, sondern sie muß auch eine angemessene Konzentration besitzen. Ist die Lösung zu konzentriert, so vermag darin die Hefe nicht mehr fortzukommen, allerdings liegen die Grenzen der Konzentration sehr hoch. So wies beispielsweise Hayduck nach, daß sehr kräftige Hefen sogar Zuckerlösungen, die mehr als 50 Prozent Zucker enthalten, noch zu vergären vermögen, allerdings verläuft die Gärung mit steigender Konzentration immer langsamer. Ein Zuckergehalt von 12 bis 15 Prozent kann im allgemeinen als der günstigste angenommen werden, doch hängt das Verhalten der Hefe zu konzentrierteren Lösungen auch sehr von der Rasse ab. Manche Hefen sind befähigt, viel konzentriertere Lösungen in lebhafte Gärung zu versetzen, wenn die Hefe jung und kräftig ist und alle sonstigen Bedingungen ihren Anforderungen entsprechen.

Eine untere Konzentrationsgrenze scheint dagegen nicht zu bestehen. Vielmehr ist die Hefe imstande, selbst dann noch Alkohol und Kohlensäure zu bilden, also deutliche Gärwirkung zu äußern, wenn ihr überhaupt kein Zucker zu Gebote steht. Dann vermehrt sie sich allerdings nicht mehr, man bezeichnet diesen Vorgang als „Selbstgärung". Wahrscheinlich rührt dann der entstandene Alkohol und die Kohlensäure aus dem in den Hefezellen vorhandenem Glykogen her, welches angegriffen und gespalten wird.

In diesem Hungerzustande beschränkt sich die lebende Hefe aber nicht nur darauf, die Kohlehydrate, die in ihr aufgespeichert sind, anzugreifen, sondern es findet auch eine Umwandlung der stickstoffhaltigen Verbindungen statt, wobei Spaltungsprodukte dieser entstehen. Diese Erscheinung, die sich besonders rasch dann einstellt, wenn Hefe längere Zeit bei höherer Temperatur unter Abwesenheit stickstoffhaltiger Nährstoffe aufbewahrt wird, pflegt man als „Selbstverdauung" zu bezeichnen. Praktisch findet dieses Verhalten bei der Herstellung der Hefeextrakte Anwendung.

Die Selbstgärung und die Selbstverdauung hat jedoch mit der **Fäulnis** der Hefe nichts gemein, die immer erst eintreten kann, wenn die Hefe tot ist. Dabei bildet sich eine Reihe von zum Teil höchst widerlich riechender Zersetzungsprodukte, die natürlich auch nachteilig auf den Geschmack und Geruch der vergorenen Flüssigkeit wirken können.

Auf die Lebensäußerungen der Hefe nimmt auch der Sauerstoff, beziehungsweise die Luft einen großen Einfluß. **Pasteur** glaubte, daß die Gärungserscheinungen darauf zurückzuführen seien, daß der in der zu vergärenden Flüssigkeit untergetauchten Hefe kein freier Sauerstoff zu Gebote steht. Dann entziehe sie den Sauerstoff gewissen Verbindungen, vor allem den Zuckerarten, wobei diese in Alkohol und Kohlensäure gespalten werden. Er bezeichnete diesen Vorgang als „intramolekulare Atmung" und folgerte, daß das Wachstum und die Vermehrung der Hefe allerdings durch die Gegenwart von Sauerstoff befördert, die Gärwirkung, also die Bildung von Alkohol und Kohlensäure, verringert werde.

Diese Beobachtung ist allerdings zum Teil richtig, sie scheint allem Anscheine nach jedoch nicht uneingeschränkt für alle Heferassen Geltung zu besitzen. So gibt es Hefearten, die sich durch ein besonders großes Sauerstoff-, beziehungsweise Luftbedürfnis auszeichnen, und bekannt ist es ja, daß durch kräftige Lüftung die Vermehrung der meisten Heferassen günstig beeinflußt wird. Dem wird auch in der Praxis bei der Herstellung des Hefegutes und in der Preßhefefabrikation Rechnung getragen. Inwieweit aber dadurch gleichzeitig auch die Gärkraft beeinflußt wird, scheint noch nicht mit vollster Sicherheit ermittelt worden zu sein. Nach **Delbrück** lassen sich darüber folgende Sätze aufstellen:

1. Es ist der Einfluß des Sauerstoffes auf die Sprossung und auf die Gärwirkung zu unterscheiden.

2. Die Gärleistung einer Hefemenge in einer gegebenen Gärflüssigkeit wird durch Sauerstoff gesteigert, weil bei starker Sprossung die Zahl der Arbeitselemente wächst. Die Leistung der einzelnen Zellen wird herabgesetzt, weil die auf sie fallende Menge Eiweiß aus der Nährflüssigkeit geringer und daher auch die Zymasebildung der einzelnen Zellen schwächer ist.

3. Die Gärwirkung auch der einzelnen Zellen ist zu Beginn der Gärung am stärksten, weil eine reichliche Ernährung mit starker Anregung zur Zymasebildung zusammenfällt.

4. In verdünnten Zuckerlösungen findet eine langsamere Hefevermehrung statt; aber diese ist nicht direkt proportional zur Konzentration vermindert, sondern in einem schwächeren Verhältnis, als man erwarten sollte. Ähnlich steht es mit der Stickstoffernährung. Ein Übermaß hat keinen Einfluß auf das Wachstum und die Vermehrung der Hefe; bei einer Verminderung der Stickstoffnahrung sinkt die Hefevermehrung aber auch in einem geringeren Verhältnisse, als die Stickstoffnahrung eingeschränkt wird.

Eine Reihe weiterer interessanter und für die Praxis bedeutungsvoller Tatsachen ergibt sich ferner aus dem Verhalten der Hefe gegenüber verschiedenen chemischen Verbindungen. Eine große Anzahl dieser müssen wir als Hefegifte ansehen, d. h. sie vermögen in größeren Mengen die Hefe zu töten, in geringeren ihre Entwicklung zu hemmen. In ganz geringen Mengen angewendet, besitzen manche dieser Stoffe jedoch die Eigenschaft, anregend auf die Lebenstätigkeit der Hefe einzuwirken, ihre Vermehrung, die Alkoholbildung &c. zu erhöhen, mithin die Rolle von Reizstoffen zu übernehmen.

So fand beispielsweise Hayduck, daß Buttersäure in einer Menge von 0·1 Prozent die entstehende Alkoholmenge auf 0·56 Prozent herabsetzte. Wurde die Buttersäuremenge jedoch auf 0·01 Prozent verringert, so entstanden 6·21 Prozent Alkohol, bei 0·05 Prozent 6·42 Prozent Alkohol. Bei Abwesenheit von Buttersäure hatten sich 6·01 Prozent Alkohol gebildet. Nach H. Schulz verhalten sich andere Stoffe, und zwar solche, die sonst eminente Hefegifte sind, wie Sublimat, Brom, Jod, arsenige Säure, Salizylsäure, Chromsäure, Ameisensäure &c. ähnlich, in geringen Mengen vermögen sie anregend auf die Hefe zu wirken. Auch Milchsäure wirkt in Mengen von 1 Prozent fördernd auf die Gärung, hemmend erst dann, wenn 2 Prozent Milchsäure vorhanden sind.

Delbrück und Lange haben jedoch gefunden, daß mit dieser Aufzählung die Reihe der unter Umständen günstig wirkenden Stoffe noch lange nicht erschöpft ist. Weitere Reiz-

stoffe sind Asparagin, saures Kaliumphosphat, Magnesiumsulfat, Pepton, Haferschrot, Hefeextrakt 2c., und es muß als sehr wahrscheinlich angenommen werden, daß ihre die Gärung fördernde Wirkung darauf zurückzuführen ist, daß diese Stoffe zunächst anregend auf die Entstehung der Enzyme wirken.

Als Hefegifte wirken dagegen alle jene Körper, die mit Eiweißstoffen unlösliche Verbindungen bilden, also vor allem die löslichen Salze vieler Schwermetalle (Quecksilber, Kupfer, Blei, Silber) und jene, welche das Eiweiß zu koagulieren vermögen, wie Salpetersäure, Schwefelsäure und Salzsäure.

Umfassende und wichtige Untersuchungen über den schädigenden Einfluß zahlreicher Stoffe auf Hefe verdanken wir Henneberg, er fand unter anderem:

Die Hefe vermochte keine Gärtätigkeit zu äußern, wenn die Würze, in der sie ausgesät worden war, folgende Mengen enthielt:

	Prozent
Flußsäure	0·017
Formalin	0·1
Ätznatron	0·12
Salzsäure	0·14
Ameisensäure	0·17
Phosphorsäure über . . .	0·3
Salpetersäure	0·31
Schwefelsäure	0·39
Oxalsäure	0·46
Buttersäure	0·5
Essigsäure	0·75
Milchsäure über . . .	0·9
Weinsäure " . . .	2
Zitronensäure " . . .	3
	Volumprozent
Alkohol	12

Henneberg studierte auch die Zeit, welche nötig war, die Hefe zu töten, wenn sie in Wasser, das verschiedene Mengen der Gifte enthielt, gebracht wurde. Daraus ergab sich, daß die Wirkung dieser Stoffe durchaus nicht gleich ist. Die Hefe wurde getötet durch

		Prozent			
Flußsäure	von	0·023	nach	26	Minuten (alte Hefe)
Flußsäure	„	0·04	„	2	Stunden 4 Minuten (frische Hefe)
Formaldehyd	„	0·15	„	37	Minuten
Ätznatron	„	0·25	„	26	„
Ameisensäure	„	0·34	„	46	„
Oxalsäure	„	0·05	„	24	Stunden
Oxalsäure	„	2·2	„	24	St. 30 Min. noch lebend
Salzsäure	„	0·72	„	2	„ — „
Salpetersäure	„	0·8	„	24	„ — „
Schwefelsäure	„	1·3	„	2	„ 4 „ „ „
Phosphorsäure	„	2	„	1	„ 28 „ „ „
Essigsäure	„	3	„	1	„ — „
Buttersäure	„	3	„	—	52 „
Buttersäure	„	4	„	—	17 „
Milchsäure	„	3	„	1	„ 27 „ „ „
Weinsäure	„	5	„	24	„ — „ „ „
Zitronensäure	„	5	„	24	„ — „ „ „
		Volumprozent			
Alkohol von		25	„		39 „

Die praktische Bedeutung dieser Zahlen liegt in folgendem. Bakterien, deren Eigenschaften und Bedeutung für die Gärungsvorgänge wir noch besprechen werden, sind gegen viele Gifte viel empfindlicher als die Hefe, d. h. sie werden durch geringe Mengen, welche auf die Hefe ohne Einfluß sind, getötet. In der Behandlung von Hefe mit solchen Stoffen in Konzentrationen, welche auf die Hefe nicht ungünstig wirken, besitzen wir mithin ein Mittel, Hefen und Bakterien voneinander zu trennen, beziehungsweise die Bakterien zu töten, ohne die Hefe ungünstig zu beeinflussen.

Schwefelige Säure ist, in größeren Mengen verwendet, ebenfalls ein Hefegift. Zur Tötung sind nötig

1·35	Gramm	schwefelige	Säure	im	Liter	nach	15 Minuten
0·27	„	„	„	„	„	„	1 Stunde
0·108	„	„	„	„	„	„	24 Stunden

Bakterien und Schimmelpilze sind aber noch weit empfindlicher, schon eine Lösung von schwefeliger Säure, die 1 Gramm in 36 Litern enthält, tötet sie zuverlässig. Darauf beruht die vorzügliche Wirkung der schwefeligen Säure und ihrer sauren Salze in den Gärungsgewerben.

Es ist jedoch auch möglich, Hefe an manche Bakteriengifte zu gewöhnen. Durch Züchtung in immer konzentrierteren Lösungen dieser Gifte paßt sie sich ihrer Anwesenheit an und verträgt schließlich ziemlich ansehnliche Mengen, ohne geschädigt zu werden. Man bezeichnet diese Erscheinung als „Akklimatisation“, ein Verhalten, das bei manchen Verfahren Anwendung findet. Dies ist z. B. bei dem Effrontschen Flußsäureverfahren der Fall, ähnlich gelang die Akklimatisierung mit schwefeliger Säure, Salzsäure und Formaldehyd (Formalin). Der praktische Wert dieser Erscheinung liegt in der oben angeführten Tatsache, daß Bakterien viel empfindlicher gegen solche Giftstoffe sind, als die Hefe selbst, und getötet werden, während sich dann die Hefe ungehindert und ohne schädliche Nebengärungen zu entwickeln vermag.

Alkohol und Kohlensäure sind Stoffwechselprodukte der Hefe. Es ist eine unter allen Lebewesen verbreitete Erscheinung, daß sie die Erzeugnisse ihrer Lebenstätigkeit nur bis zu einem gewissen Grade vertragen. Häuft sich die Menge dieser Stoffwechselprodukte über ein gewisses Maß an, so wirken sie hemmend auf die weitere Entwicklung. Es ist daher begreiflich, daß auch Alkohol und Kohlensäure sich der Hefe gegenüber ebenso verhalten. Kohlensäure schädigt, in zu großer Menge, ebenso die Vermehrung der Hefe, wie die Intensität der Gärung, und wenn sie sich in der gärenden Flüssigkeit in zu großer Menge ansammelt, so setzt sie die Gärwirkung herab. Auch Alkohol verhält sich ähnlich, doch sind die Hefearten in ihrem Verhalten zu Alkohol nicht gleich. Die Fähigkeit der Hefe, sich zu vermehren, wird allerdings schon durch verhältnismäßig geringe Alkoholmengen, etwa 5 Volumprozent, unterbunden, doch wird dadurch die Tätigkeit der Enzyme, die im Innern der Hefezelle die Spaltung des Zuckers besorgen, nicht beeinträchtigt. Die gärkräftigen Rassen von Saccharomyces cerevisiae vermögen 18 bis 19 Prozent

Alkohol zu erzeugen, doch vermögen sie sich nicht zu entwickeln, wenn man sie in eine Würze bringt, die schon 10 bis 12 Prozent Alkohol enthält. Weinhefe (Saccharomyces ellipsoideus) vermag sogar 19 bis 20 Prozent Alkohol durch Gärung zu erzeugen.

Das Verhalten der Hefe zu den einzelnen Nährstoffgruppen wurde schon oben erörtert und dargelegt, daß sie sich diesen gegenüber nicht gleich verhält. So vermag sie beispielsweise wohl Amide, wie Asparagin und auch Ammoniaksalze, zu verarbeiten, nicht aber Salze der Salpetersäure. In dieser Hinsicht verhält sie sich gerade umgekehrt wie die grünen Pflanzen.

Natürliche Nährflüssigkeiten der Hefe sind alle zuckerhaltigen Flüssigkeiten, die neben Zucker auch aufnehmbare stickstoffhaltige Verbindungen und die erforderlichen Mineralstoffe enthalten. Die Eigenschaften und die Zusammensetzung dieser in den Gärungsgewerben zur Verarbeitung gelangenden Stoffe werden wir noch zu erörtern haben, hier wollen wir nur einige künstliche Nährlösungen besprechen, die vor allem zur Züchtung der Hefen im Laboratorium bestimmt sind.

Man verwendet in diesem Falle Lösungen von verschiedener Zusammensetzung, so z. B. „Hefewasser“, das durch Auskochen von 70 bis 100 Gramm Hefe in einem Liter Wasser unter Zusatz von 10 Prozent Rohrzucker gewonnen wird. Auch Bier, Würze, Maische ꝛc. bilden natürlich vortreffliche Nährböden.

Wir kennen jedoch auch eine große Anzahl von Lösungen, die ausschließlich auf künstlichem Wege bereitet werden und vortreffliche Nährböden für die Hefe bilden. Allerdings müssen diese Lösungen eine den Anforderungen der Hefe entsprechende Zusammensetzung besitzen; eine Nährlösung, die sich gleichmäßig zur Züchtung aller Pilzarten eignet, gibt es nicht.

Die Hayducksche Nährlösung wird bereitet, indem

100 Gramm Rohrzucker,
2·5 „ Asparagin,
20 Kubikzentimeter Mineralsalzlösung

zu 1 Liter aufgefüllt, beziehungsweise gelöst werden. Die Mineralsalzlösung enthält

50 Gramm saures phosphorsaures Kalium,
17 " schwefelsaures Magnesium

gelöst in 1 Liter.

Mithin enthält die fertige Nährlösung:

10·0 Prozent Rohrzucker,
0·25 " Asparagin,
0·1 " saures phosphorsaures Kalium,
0·3 " schwefelsaures Magnesium.

Wird diese Lösung mit destilliertem Wasser bereitet, so macht sich der Mangel an Kalk fühlbar. Nach Henneberg ist es daher angezeigt, ihr noch 0·1 Prozent Soda oder die gleiche Menge Kreide zuzusetzen, oder es ist an Stelle des sauer reagierenden Monokaliumphosphats das alkalisch reagierende Dikaliumphosphat zu verwenden.

Nägelis Nährlösung enthält:

	Prozent
Saures phosphorsaures Kalium .	0·50
Schwefelsaures Magnesium . .	0·04
Chlorkalzium	0·02
Weinsaures Ammon	1·00
Rohrzucker	10·00

Laurent verwendet:

Saures phosphorsaures Kalium .	0·07
Schwefelsaures Magnesium . .	0·01
Schwefelsaures Ammon	0·40
Rohrzucker	10·00

Auf Nährlösungen, die den Stickstoff in Form von Ammoniaksalzen enthalten, entwickelt sich die Hefe nur dann gut, wenn sie in nicht zu geringer Menge ausgesät wird.

Nährlösung nach Hansen:

	Prozent
Phosphorsaures Kalium	0·30
Schwefelsaures Magnesium . .	0·20
Pepton	1·00
Zucker	5·00

W. Henneberg empfiehlt die Verwendung der folgenden Lösungen für Kulturhefen.

1. Lösungen mit Ammoniakstickstoff:

15·0 Prozent Rohrzucker,
0·2 „ saures phosphorsaures Ammon,
0·2 „ schwefelsaures Magnesium,

destilliertes Wasser.

Ferner:

0·5 Prozent Kreide oder
0·5 „ Soda oder
0·5 „ milchsaurer Kalk.

2. Lösungen mit Asparaginstickstoff:

15·0 Prozent Rohrzucker,
0·3 „ Asparagin,
0·5 „ saures phosphorsaures Kalium,
0·2 „ schwefelsaures Magnesium,

destilliertes Wasser.

Ferner:

0·5 Prozent Kreide oder
0·5 „ Soda.

3. Lösungen mit Peptonstickstoff:

15·0 Prozent Rohrzucker,
0·5 „ Pepton-Witte,
0·5 „ saures phosphorsaures Kalium,
0·2 „ schwefelsaures Magnesium,

destilliertes Wasser.

Ferner:

0·5 Prozent Kreide
oder 0·5 „ Soda.

Sämtliche Nährlösungen müssen natürlich, ehe sie verwendet werden, sterilisiert sein, denn nur dadurch kann die

Entwicklung fremder Organismen hintangehalten werden. Näheres hierüber wird in dem Abschnitte über die Reinzucht enthalten sein.

In diesem Abschnitte haben wir bisher stets nur die Hefe oder richtiger irgendeine Heferasse im Auge gehabt. Nun ist aber zu bedenken, daß in der Regel oder wenigstens nicht selten die Hefe mit anderen Gärungspilzen gleichzeitig auftritt, und wir müssen untersuchen, inwieweit dies die Lebensweise der Hefe zu beeinflussen vermag.

Die ersten Versuche über dieses Thema hat Hansen angestellt und gezeigt, daß wenn die gleiche Anzahl Zellen von Brauereiunterhefen und Saccharomyces apiculatus gleichzeitig in einer geeigneten Nährlösung ausgesät wurde, sich beide Arten minder gut vermehrten, wie wenn jede für sich unter sonst gleichen Bedingungen kultiviert wurde. Doch ergab sich ein Unterschied zwischen Unterhefe und Saccharomyces apiculatus nach der Richtung, daß sich diese Form stets weniger vermehrte, obwohl unter allen Umständen die gleiche Alkoholmenge entstand, sowohl in den Kolben, welche nur eine Art enthielten, wie in jenen, in denen beide Arten ausgesät worden waren.

Der Versuch wurde in der Weise wiederholt, daß von Saccharomyces apiculatus doppelt so viel Zellen ausgesät wurden, als von der Unterhefe und es ergab sich der gleiche hemmende Einfluß beider Arten aufeinander. Doch wurde von beiden Formen zusammen etwas weniger Alkohol erzeugt als von der Unterhefe allein. Aus diesen Versuchen ergab sich schließlich, daß Saccharomyces apiculatus allerdings im Verlaufe der Gärung von der Unterhefe zurückgedrängt und in der Entwicklung gehemmt wurde, daß seine Gegenwart aber doch auch die Entwicklung der Unterhefe und die Alkoholproduktion ungünstig beeinflußt hatte.

Im allgemeinen können wir aus diesen und ähnlichen Untersuchungen anderer Forscher folgern, daß die Hefe fremde Formen wohl zu unterdrücken vermag, besonders wenn sie vom Anfang an in großer Menge und unter günstigen Bedingungen vorhanden ist. Diesem Verhalten ist es auch zuzuschreiben, daß dort, wo nicht mit Reinkulturen gearbeitet

wird, doch eine natürliche Auslese stattfand, wobei immer eine besonders kräftige Art fortgezüchtet wurde. Allerdings muß aber auch dort, wo mit Reinkulturen gearbeitet wird, immer damit gerechnet werden, daß aus der Luft, durch den Staub rc. fremde Organismen in die zu vergärende oder in die schon gärende Flüssigkeit gelangen. Aufgabe des Brauers oder des Brenners ist es daher, einerseits jede solche Infektion durch zweckmäßige Einrichtungen, größte Reinlichkeit rc. nach Möglichkeit zu verhüten, anderseits durch zweckmäßige Leitung des Gärprozesses die Entwicklung der Hefe zu fördern und sie in ihrem Kampfe mit anderen Mikroorganismen zu unterstützen. Ähnliches gilt auch von dem Kampfe der Hefe mit Spaltpilzen (Bakterien), die sie ebenfalls bis zu einem gewissen Grade zu unterdrücken vermag.

Wortmann hat die Ansicht ausgesprochen, daß die Gärungsprodukte, wie Alkohol und Kohlensäure, die für die Ernährung der Hefe bedeutungslos sind und sich nur als Produkte ihres Stoffwechsels darstellen, als Schutz- oder Kampfstoffe anzusehen sind, die in nicht zu bedeutender Konzentration für die Hefe unschädlich, für andere Mikroorganismen aber nachteilig sind und als Gifte wirken. Als Beispiel dieser Art führt er die Entwicklung der Mikroorganismen im frischen Weinmoste an. Jene Hefearten, die eigentlich die Vergärung des Mostes besorgen, sind zunächst nur in sehr geringer Anzahl vorhanden, dafür aber zahlreiche andere Hefearten, Schimmelpilze, Bakterien. Die wilden Hefen erzeugen nun Alkohol, den die Schimmelpilze und Bakterien nicht vertragen, weshalb sie zugrunde gehen. Doch auch die wilden Hefen sind gegen den von ihnen selbst produzierten Alkohol nicht so widerstandsfähig, sie werden daher von den echten Weinhefen, die sich, sobald die Schimmelpilze und die Bakterien unterdrückt sind, lebhaft zu vermehren beginnen, verdrängt auch deshalb, weil sie viel höhere Alkoholmengen zu vertragen vermögen, als die wilden Formen.

Dieses Beispiel zeigt, wie geänderte Lebensbedingungen auch die Entwicklung der Hefe günstig beeinflussen und sie im Kampfe mit anderen Organismen unterstützen. Diese Erkenntnis darf jedoch nicht dazu den Anlaß bieten, die Fähigkeit

der Hefe, andere Organismen zu unterdrücken, zu überschätzen. Bis zu einem gewissen Grade ist sie allerdings — immer günstige Bedingungen vorausgesetzt — imstande, die Oberhand zu behalten, aber unter allen Umständen ist dies nicht der Fall. Wir dürfen auch ferner nicht übersehen, daß eben Hefen und andere Mikroorganismen überall verbreitet sind und daß daher jede Staubwolke, besonders im Herbst, dann die Insekten usf. stets Hefezellen transportieren, weshalb stets die Möglichkeit von Infektionen im Betriebe vorhanden ist. Sie zu vermeiden oder doch in ihrer Wirkung unschädlich zu machen, ist eine der wichtigsten Aufgaben in den Gärungsgewerben, eines der zahlreichen Hilfsmittel, die uns für diesen Zweck zu Gebote stehen, ist die Schaffung günstiger Lebensbedingungen für die Hefe.

Geänderte Lebensbedingungen können jedoch auch zu einer anderen Erscheinung Anlaß geben, die man als „Degeneration der Hefe“ bezeichnet. Sie äußert sich beispielsweise darin, daß Bierhefe, die bisher ganz normal arbeitete, eine zu weit gehende Vergärung der Würze erzeugt, sich schlecht absetzt, Hefetrübungen und schlechten Geschmack des Bieres hervorruft usf. Die Ursache dieser höchst unliebsamen Erscheinung haben wir in einer Anhäufung von Stickstoffsubstanz im Hefeorganismus zu sehen, die sich bei wiederholtem Gebrauche einer und derselben Hefe einstellt. Ihr Stickstoffgehalt, der — wie wir gesehen haben — sehr variabel ist, nimmt bei jeder Vergärung zu. Damit sinkt aber auch das Vermögen, die in der Würze enthaltenen stickstoffhaltigen Substanzen zu assimilieren, und eine Regeneration ist nur dadurch zu erzielen, daß man der Hefe zum Teil den aufgespeicherten Stickstoff entzieht. Dies läßt sich durch Gärung bei höherer Temperatur oder durch kräftige Lüftung während der Gärung erreichen. Beides bewirkt lebhafte Sprossung, somit starke Vermehrung der Hefe, wodurch sich der vorhandene Stickstoffvorrat auf eine größere Hefemenge verteilt.

Wie Kohl in seinem Werke „Die Hefepilze“ ausführt, gelang es in der Tat Hayduck experimentell nachzuweisen, daß Temperaturerhöhung während der Gärung den Stickstoffgehalt der Hefe vermindert, indem sich die Hefeernte steigert,

und daß denselben Erfolg, nur in weit höherem Maße, das Lüften der Würze während der Gärung hat. Es zeigte sich weiter, daß die Hefe um so mehr Stickstoff aufzunehmen vermag, je geringer ihr eigener Stickstoffgehalt ist. Werden Hefen mit verschiedenem Stickstoffgehalte zur Vergärung einer Würze ohne Lüftung und unter sonst gleichen Bedingungen benutzt, so gleicht sich der Stickstoffgehalt der Hefe wieder nahezu aus. Normale Hefe enthält also weniger Stickstoff als degenerierte, sie entzieht der Würze rascher die assimilierbaren Stickstoffsubstanzen, beendet ihr Wachstum früher, löst ihre Sproßverbände früher und setzt sich rascher ab; die degenerierte Hefe dagegen ist ihres höheren Stickstoffgehaltes wegen gärkräftiger, der Vergärungsgrad hat die bei der Hauptgärung zulässige Höhe bereits erreicht oder schon überschritten, wenn das Wachstum der Hefe infolge der trägeren Stickstoffassimilationsfähigkeit noch nicht beendet ist: die Hefe setzt sich schlecht ab. Je stickstoffreicher die in der Praxis verwendeten Würzen sind, um so rascher wird die Hefe degenerieren und umgekehrt, ja in stickstoffarmen Würzen ist sogar eine Stickstoffabnahme der Hefe während der Gärung möglich; daher kann eine in einer Brauerei degenerierte Hefe in einer anderen Brauerei zur Zufriedenheit arbeiten. Das Überführen der Hefe in eine Zuckerlösung drückt den Stickstoffgehalt der Hefe mehr herunter und macht sie geeigneter als in Würze; nach der Hauptgärung zeigen im Stickstoffgehalt stark differierende Hefen wieder annähernd gleichen Stickstoffgehalt.

Da Regeneration eine Verminderung des Stickstoffgehaltes der Hefe ist und da mit dem Stickstoffgehalt auch die Gärkraft, d. h. der Zymasegehalt, abnimmt, so ist eine regenerierte Hefe nicht eine Hefe, in welcher viel Zymase enthalten ist, sondern eine solche, welche dieses Enzym schnell zu produzieren vermag.

Delbrück faßte das Gesagte in die folgenden Sätze zusammen: „Die Haupteigenschaft der Hefe, Gärung zu erregen, ist abhängig von ihrem Eiweißgehalt. Je höher der Eiweißgehalt, um so energischer die Gärkraft. Allein diese zu stark entwickelte Eigenschaft kann unzweckmäßige Nebenerscheinungen im Gefolge haben; deshalb regeneriert man die Hefe, indem man den Eiweißgehalt durch Züchtung in stickstofffreien

Medien bei gleichzeitiger Anregung der Vermehrung durch Lüftung ermäßigt. Die Gärkraft der Hefeernte steht im umgekehrten Verhältnisse zur stattgefundenen Vermehrung. Geringe Vermehrung gibt eine eiweißreiche Hefe, starke Vermehrung eine eiweißarme. Alles, was der Vermehrung entgegenarbeitet und sie herabsetzt: niedere Temperatur, Luftabschluß, Verhinderung der Bewegung, Gärung unter Kohlensäuredruck gibt gärkräftige Hefe mit hohem Eiweißgehalt, und umgekehrt gibt geringe Aussaat, starke Lüftung, Bewegung, Entfernen der Kohlensäure eine große Hefeernte von geringem Eiweißgehalt und geringer Gärkraft. Will man mit starker Vermehrung hohe Gärkraft verbinden, so ist es nötig, der Nährlösung eine Zugabe an leicht verdaulichem Eiweiß zu geben, was in der modernen Lufthefefabrikation unter Verwendung von Malzkeimen als Maischstoff geschieht."

3. Die wichtigsten Arten der Hefe.

Wie schon wiederholt erwähnt wurde, müssen wir Kulturhefen und wilde Hefen unterscheiden. Als Kulturhefe bezeichnet man jene Hefearten, die schon seit langer Zeit in den Gärungsgewerben verwendet und fortgezüchtet werden und die durch die Züchtung unter gleichbleibenden Verhältnissen bestimmte wertvolle Eigenschaften angenommen haben. Natürlich hat im Laufe der Zeit dabei auch eine Auslese stattgefunden, indem aus Gemengen verschiedener Arten schließlich eine oder einige Arten, die sich durch wertvolle Eigenschaften auszeichneten, übrig geblieben sind. Seit den Forschungen der Gärungschemiker, vor allem Hansens, geht man noch einen Schritt weiter: man isolierte aus solchen Hefegemengen bestimmte, besonders wertvolle Arten und züchtet diese in Reinkulturen fort, außerdem war es möglich, durch Züchtung zu neuen Heferassen zu gelangen.

Neben den Kulturhefen gibt es in der Natur aber noch eine sehr große Anzahl sogenannter „wilder Hefen", die in den Gärungsgewerben ungebetene Gäste sind und oft zu Betriebsstörungen Anlaß geben. Diese müssen von den Kulturformen wohl unterschieden werden, auch von diesen werden wir eine Anzahl zu besprechen haben.

Wenn wir uns einen Überblick über die verschiedenen Arten der Kulturhefen zu verschaffen suchen, so wird dies am leichtesten einerseits nach den verschiedenen Gärungsgewerben, in denen sie Verwendung finden, anderseits nach dem Gärvermögen und endlich nach ihrem Verhalten zu den Zuckerarten geschehen.

Zu den Kulturhefen gehören — unter Berücksichtigung der Gärungsgewerbe — die untergärigen und obergärigen Bierhefen, die Brennereihefen, die Preßhefen und die Weinhefen, denn auch auf diesem Gebiete der Gärungstechnik hat man schon mit vollem Erfolge begonnen, Reinhefen zu züchten und anzuwenden.

Aber nicht alle zur Gattung Saccharomyces gehörenden Arten besitzen die Fähigkeit, zu gären, d. h. Zucker in Alkohol und Kohlensäure zu spalten. Demnach können wir die Saccharomyceten auch in gärende und nicht gärende Arten einteilen, zu den ersten gehören alle Kulturformen und viele wilde Hefen, zu den zweiten gewisse Kahmhefen, Torula- und rote Hefen.

Unterscheidet man die Hefen nach dem Gärvermögen, so muß man sie in stark oder hoch vergärende und in schwach oder niedrig vergärende Arten trennen. Diese Unterscheidung läßt sich sowohl bei den Kulturhefen, wie bei den wilden Hefen treffen, so daß wir bei beiden Arten hoch und niedrig vergärende Arten finden. Nach zwei Hefetypen, einer schwach vergärenden Bierhefe aus Saaz und einer hoch vergärenden Bierhefe aus der Brauerei Frohberg in Grimma, bezeichnet man die schwach vergärenden Bierhefen auch als „Saazhefen“, die hoch vergärenden als „Frohberghefen“.

Eine andere, sehr wichtige Einteilung beruht auf dem Verhalten der Hefen gegenüber den verschiedenen Zuckerarten. Wir haben an einer früheren Stelle schon angedeutet, daß wir außer dem gewöhnlichen Rohrzucker noch zahlreiche andere Zuckerarten zu unterscheiden haben, deren Besprechung uns an einer folgenden Stelle dieses Buches beschäftigen wird. Hier sei nur erwähnt, daß beispielsweise die Milch eine besondere Zuckerart, den Milchzucker, enthält, daß sich während der Keimung des Malzes und später bei der Herstellung der

Würze Malzzucker oder Maltose bildet usf. Dementsprechend unterscheidet man die Hefen in Milchzucker-, Rohrzucker-, Raffinose-, Dextrose- und Dextrinhefen, womit gesagt sein soll, daß sich die betreffenden Hefen zu diesen Zuckerarten besonders verhalten. So vermögen die Milchzuckerhefen außer anderen Zuckerarten auch den Milchzucker zu vergären, die Dextrosehefen vergären nur Dextrose (Traubenzucker) und Lävulose, beide Zuckerarten bilden sich bei der Hydrolyse der Saccharose. Rohrzuckerhefen vergären außer Dextrose und Lävulose auch Rohrzucker, Raffinosehefen vergären neben anderen Zuckerarten auch die Raffinose usf. Zu den Raffinosehefen gehören u. a. auch die untergärigen Bierhefen.

Wiederholt erwähnt haben wir auch schon die Einteilung der Hefen in obergärige und untergärige. Die obergärigen Hefen, zu denen die obergärigen Bierhefen, dann die Brennerei- und Preßhefen gehören, bilden einen hefigen Schaum, während die untergärigen Hefen, zu denen die untergärigen Bierhefen und die Weinhefen zählen, einen glasigen Schaum bilden. Auch auf das Verhalten der Sproßverbände wurde schon hingewiesen, auch hier ergeben sich manche praktisch wichtige Unterschiede. So bilden die meisten Kulturhefen gute Sproßverbände, während diese Fähigkeit bei den wilden Hefen nur wenig ausgebildet ist, weshalb sich die Zellen bald voneinander trennen.

Die Formen der höheren Pflanzen sind nicht, wie meist angenommen wird, durchaus und unter allen Umständen konstant. Vielmehr treten hier mitunter plötzliche Abweichungen vom Typus ein, die man nach Tschermack und de Vries als „spontane Variationen“ bezeichnet. Die Ursachen der spontanen Variation sind noch nicht mit voller Sicherheit bekannt, doch schenkt man heute dieser Erscheinung vollste Aufmerksamkeit und verwendet sie nach der Richtung für praktische Zwecke, durch Auswahl unter diesen Neubildungen neue wertvolle Arten unsere Kulturpflanzen zu erhalten.

Ähnliches zeigen auch die Hefearten. Wohl haben wir — worauf Hansen zuerst hinwies — innerhalb der Kulturhefen gewisse sich deutlich unterscheidende Arten und innerhalb dieser wieder gewisse Rassen zu unterscheiden, doch treten hier eben-

falls, unter dem Einflusse äußerer Einwirkungen, Variationen auf. Das Verhalten dieser Variationen ist nun verschieden. Viele gehen, wenn die ursprünglichen Kulturbedingungen hergestellt werden, wieder in den früheren Zustand zurück — sie sind nicht konstant. Andere aber behalten die neuen Eigenschaften bei und vererben sie auf ihre Nachkommen. Dies ist allerdings nur dann der Fall, wenn es sich um tief eingreifende Änderungen der Lebensbedingungen handelt, denen nicht nur einige wenige, sondern sehr viele aufeinander folgende Generationen gleichmäßig ausgesetzt waren. Umgekehrt besitzen die Hefen, welche zu den Kulturhefen gehören und deren man sich in den Gärungsgewerben bedient, die wertvolle und wichtige Eigenschaft, ihre Eigentümlichkeiten unverändert beizubehalten, sofern man sie stets unter den gleichen oder doch nur wenig geänderten Verhältnissen kultiviert.

Für die Praxis besitzen diese Erscheinungen nach mehrfacher Richtung die größte Bedeutung. Zunächst ersehen wir daraus, daß es möglich ist, von einer Hefezelle ausgehend, stets Hefe mit den gleichen und auch gleichbleibenden Eigenschaften zu erhalten, sofern man sie stets unter den gleichen Lebensbedingungen erhält. Anderseits entnehmen wir daraus aber auch die Notwendigkeit, ohne besonderen Anlaß die Lebensbedingungen, die sich für die Erreichung eines bestimmten Zweckes bewährten, nicht zu ändern, weil sonst durch das Auftreten solcher Variationen — wenn sie auch zunächst nicht konstant sind und leicht wieder in die ursprüngliche Form zurückgeführt werden können — doch unliebsame Erscheinungen aufzutreten vermögen. Drittens bildet dieses Verhalten der Hefe aber die höchst wichtige Grundlage für die Heranzüchtung neuer Rassen — eine Tatsache, von der ebenfalls die Gärungsgewerbe schon sehr großen Nutzen gezogen haben und die möglicherweise berufen ist, noch weitere wichtige und wertvolle Umgestaltungen zu bringen.

Wie sehr Veränderungen der Lebensbedingungen solche Variationen hervorrufen können, lehrt der von Hansen beobachtete Fall an Saccharomyces Ludwigii. Aus einer Reinkultur lassen sich Vegetationen mit sehr verschiedener Fähigkeit zur Sporenbildung erhalten. Durch planmäßige Auswahl

einzelner Zellen gelang es Hansen, Vegetationen hervorzubringen, die unter normalen Umständen keine Sporen bildeten; umgekehrt zeigte es sich, daß er, wenn er von derselben ursprünglichen Vegetation ausgehend einen Hefefleck wählte, welcher von einer sporentragenden Zelle stammte, zu einer Vegetation gelangte, welche sofort imstande war, reichlich Sporen zu bilden. Mithin waren drei Vegetationsformen entstanden: eine bildete reichlich Sporen, die zweite fast gar nicht und die dritte überhaupt nicht. Nach zahlreichen Züchtungen in Würze kehrte jedoch auch die dritte Form wieder zur Sporenbildung zurück, allerdings langsam. Wurde sie aber in Hefewasser mit 10prozentiger Dextroselösung kultiviert, so stellte sich die Sporenbildung augenblicklich wieder ein.

Jedenfalls ist als bestimmt anzusehen, daß die chemische Zusammensetzung des Nährmediums bei solchen Variationen eine sehr große Rolle spielt. So fand Jörgensen, daß eine Brauereioberhefe, die in der Praxis eine gute Klärung der vergorenen Flüssigkeit herbeiführt, diese Eigenschaft verliert, wenn sie einige Zeit bei Zimmertemperatur auf Würzegelatine aufbewahrt wurde, gleichzeitig bewirkt sie eine bedeutend stärkere Vergärung als zuvor. Hansen zeigte, daß Saccharomyces Pastorianus I., welcher der Bierwürze einen unangenehmen Geruch und Geschmack verleiht, diese Eigenschaft einige Zeit hindurch verliert, wenn die Vegetation in einer wässerigen Lösung von Rohrzucker aufbewahrt wird. Jörgensen, Hansen und Will fanden, daß eine Brauereiunterhefe nach längerer Aufbewahrung unter Eis und darauffolgender neuer Entwicklung in Würze Phänomene der Obergärung zeigte, die allerdings wieder verloren gingen.

Beispiele dieser Art, die das Auftreten solcher Variationen beweisen, ließen sich noch in großer Anzahl geben, wichtiger ist es jedoch, ihren Ursachen nachzuforschen. Diese müssen wir einerseits in der chemischen Zusammensetzung des Nährmediums, anderseits in der Temperatur, dann aber auch in der Ernährung der Zellen überhaupt — z. B. ob mit oder ohne Lüftung — und schließlich in der Art und Weise der Vermehrung der Zellen sehen. „Jede sorgfältige Be-

handlung einer rein gezüchteten Hefeprobe aus der Praxis — sagt Jörgensen — wird Beiträge zur Beleuchtung dieser Frage geben. Wenn aus einer von einer einzigen Zelle abstammenden Hefemasse, welche seit einiger Zeit in der Industrie Anwendung findet, eine Anzahl Zellen ausgeschieden werden, so können die mit solchen Reinkulturen eingeleiteten parallelen Gärungen Unterschiede, und zwar zuweilen sehr bedeutende, zeigen, in Hinsicht auf Geschmack, Geruch und die übrigen Charaktere der vergorenen Flüssigkeit, ferner in bezug auf ihre Attenuation, die Beschaffenheit der Hefeschicht usw. Es können z. B. Varietäten vorkommen, welche bei der Gärung einen durchdringenden, unangenehm bitteren Geschmack hervorbringen, im übrigen aber in jeder Beziehung mit der Kulturhefe übereinstimmen. Von Interesse ist z. B. auch ein Fall, wo eine ausgeschiedene Varietät eine bedeutend schnellere Klärung gab, als die ursprüngliche Rasse, während im übrigen in botanisch-biologischer, wie auch in praktischer Beziehung alles gleich war. In anderen Fällen hatte sich das Attenuationsvermögen der Hefe stark verändert. Beim Studium einer Anzahl ausgeschiedener Vegetationen ließen sich eine Reihe Übergangsformen erkennen, und bei richtiger Auswahl unter diesen wurden Kulturen dargestellt, welche in Würze von der nämlichen Beschaffenheit wie früher die Attenuation wieder auf das normale zurückführten."

Mit den besprochenen Variationen steht die Erscheinung der „Degeneration", die wir schon erörterten (siehe S. 69), im innigsten Zusammenhange, auch hier haben wir es im gewissen Sinne mit einer „Variation" zu tun, deren Ursachen wir in der übermäßigen Ernährung der Zellen mit Stickstoff kennen lernten. Doch ist es hier leicht, durch Entziehung oder Einschränkung der Stickstoffnahrung Abhilfe zu schaffen.

Zu den Variationen oder richtiger zur künstlichen Variierung gehört auch die „Veredlung der Hefe", auf die Jörgensen aufmerksam gemacht hat. Sie besteht darin, daß man aus einer Hefemasse, welche in der Praxis zufriedenstellende Ergebnisse liefert, durch Auswahl unter den Zellen Vegetationen darstellt, welche die gewünschten Eigenschaften besonders ausgeprägt aufweisen, und diese Behandlung durch

mehrere Generationen fortsetzt, jedesmal, wenn die Hefe einige Zeit in der Praxis im Gebrauche war.

Wie solche Veredlungen und überhaupt die Reinzucht auszuführen ist, welcher Hilfsmittel man sich dabei bedient und welche Maßnahmen sie erfordert, werden wir in einem besonderen Abschnitte zu besprechen haben. Das Gesagte hat an dieser Stelle nur den Zweck, auf die Veränderungen hinzuweisen, welchen die Hefe durch natürliche oder künstliche Einwirkungen unterliegen kann. Daraus wäre eigentlich zu folgern, daß von bestimmten Arten, Gattungen oder Rassen der Hefe nicht zu sprechen ist, weil sie ungemein leicht Veränderungen unterliegt. Diese Folgerung wäre jedoch nicht zutreffend. Denn die Hefen variieren besonders dann, wenn sie unter abweichende Verhältnisse kommen. Züchtet man sie unter stets gleichbleibenden Bedingungen, wobei sowohl die Temperatur wie das Nährmedium usf. berücksichtigt werden müssen, so gelangt man zu einer großen Anzahl wohl definierter und genau studierter Arten, die ihre Eigenschaften stets unverändert beibehalten. Es ist daher sehr gut, eine eingehende Beschreibung und Einteilung, sowie stets die Erkennung auf Grund ihrer Eigenschaften möglich.

Die Grundlinien einer wissenschaftlichen Systematik der Saccharomyceten wurden von E. Chr. Hansen folgendermaßen aufgestellt:

Familie der Saccharomyceten.

Sproßpilze mit Endosporen und reichlicher Hefezellenbildung. Typisches Myzel nur bei wenigen Arten. Jede Zelle kann als Sporenmutterzelle auftreten. Spore einzellig; Anzahl der Sporen gewöhnlich in jeder Mutterzelle 1 bis 4, selten 12.

A. Echte Saccharomyceten.

1. Gruppe.

Die Zellen bilden in zuckerhaltigen Nährflüssigkeiten sofort Bodensatzhefe und erst weit später eine Haut, deren Vegeta-

tion schleimig, ohne Einmischung von Luft ist. Sporen glatt, rund oder oval, mit ein oder zwei Membranen; Keimung durch Sprossung oder Keimschlauchbildung (Promyzel). Alle oder jedenfalls die meisten zu dieser Gruppe gehörenden Arten rufen Alkoholgärung hervor.

Gattung I. Saccharomyces Meyen.

Die mit einer Membran versehenen Sporen keimen durch Sprossung. Außer Hefenzellenbildung bei einigen zugleich Myzel mit scharfen Querwänden.

(Hierher gehören die Kulturhefen und die große Mehrzahl der wilden Hefen.)

Gattung II. Zygosaccharomyces Barker.

Zeichnet sich durch eine Kopulation der Zellen aus, stimmt übrigens mit der vorhergehenden Gattung überein.

Gattung III. Saccharomycodes E. Chr. Hansen.

Durch die Keimung der mit einer Membran versehenen Sporen entwickelt sich ein Promyzelium. Von diesem, sowie von den vegetativen Zellen findet eine Sprossung mit unvollständiger Abschnürung statt. Myzelbildung mit deutlichen Querwänden.

Gattung IV. Saccharomycopsis Schiönning.

Die Spore besitzt zwei Membranen; übrigens stimmen die Charaktere, so weit wie sie bekannt sind, am nächsten mit denjenigen des Saccharomyces überein.

2. Gruppe.

Die Zellen bilden in zuckerhaltigen Nährflüssigkeiten sofort eine Kahmhaut, welche der Lufteinmischung wegen trocken und matt ist und deutlich sich von der Hautbildung der ersten Gruppe unterscheidet. Sporen halbkugelförmig, eckig, hut- oder zitronenförmig, in den zwei letzteren Fällen mit einer hervorspringenden Leiste versehen, übrigens glatt; nur mit einer Membran; Keimung durch Sprossung. Die meisten Arten

zeichnen sich durch ihre Esterbildung aus; einige rufen keine Gärung hervor.

Gattung V. Pichia E. Chr. Hansen.

Spore halbkugelförmig oder unregelmäßig und eckig. Keine Gärung; starke Myzelbildung.

Gattung VI. Willia E. Chr. Hansen.

Spore hut- oder zitronenförmig mit stark hervorspringender Leiste. Die meisten Arten sind kräftige Esterbildner, einige wenige rufen keine Gärung hervor.

B. Zweifelhafte Saccharomyceten.

Monospora. Nematospora.

Eine auf derselben Grundlage fußende, jedoch ausführlichere und auch übersichtlichere Einteilung der Hefepilze verdanken wir Professor Kohl; wir lassen sie nach dessen Werk „Die Hefepilze" im Wortlaute folgen. Kohl scheidet die Hefepilze in drei Abteilungen, von denen die erste die Sproßhefen oder Saccharomycetes, die zweite die Spalthefen oder Schizosaccharomycetes enthält, während in einer dritten Abteilung eine Reihe von hefeähnlichen Pilzen aufgezählt wurde, deren systematische Stellung vorläufig noch unsicher ist, die aber zweifellos durch mannigfache Beziehungen zu den Sproß- und Spalthefen eine engere Angliederung an diese verdienen.

Die Saccharomyceten sind weiter in zwei Gruppen zerlegt, wobei in erster Linie das Auftreten und die Beschaffenheit der Kahmhaut als Unterscheidungsmerkmal herangezogen ist. Die Arten der sehr formenreichen Gattung Saccharomyces hat man nach ihrem Verhalten zu den vier Zuckerarten Dextrose, Saccharose, Maltose und Laktose in sechs Untergruppen A bis F verteilt. Als „zweifelhafte Saccharomyceten" müssen die merkwürdigen Pilze Monospora cuspidata und Nematospora Coryli angesehen werden, welche nicht nur durch ihre charakteristischen Merkmale im ganzen genommen eine Sonderstellung einnehmen. Will man sie überhaupt den

Saccharomyceten zuteilen, so müssen sie jedenfalls eine besondere Gruppe bilden. Kohl hat sie daher, dem Vorgange Hansens entsprechend, als „zweifelhafte Saccharomyceten" dem Schema am Schlusse angefügt.

Die von Kohl gegebene ausführliche Übersicht lautet:

I. Echte Hefen, Sproßhefen, Saccharomycetes.

Einzellige Sproßpilze mit reichlicher Vermehrung durch Sprossung und Endosporenbildung. Typisches Myzel nur bei wenigen Arten. Jede Zelle kann als Sporenmutterzelle, Ascus, fungieren. Sporen einzellig, meist 1 bis 4 Sporen in jedem Ascus, seltener 12.

1. Gruppe.

Die Zellen bilden in zuckerhaltigen Nährflüssigkeiten sofort eine Bodensatzhefe und erst weit später eine Kahmhaut, wenn diese überhaupt zur Ausbildung gelangt. Kahmhaut mehr oder minder schleimig, ohne Luft (mit Ausnahme von Saccharomycopsis capsularis mit oidiumartiger, schnell erscheinender zottiger Kahmhaut). Sporen rund oder oval, glatt, mit einfacher oder doppelter Membran. Keimung durch direkte Sprossung oder durch Keimschlauchbildung (Promyzel). Die weitaus meisten der hierher gehörigen Arten rufen Schleimhautbildung hervor.

1. Gattung. Saccharomyces.

Sporen mit einfacher Membran, keimen durch Sprossung. Neben Hefezellenbildung bei einigen Arten zugleich Myzel mit deutlichen Querwänden.

Nach ihrem Verhalten gegenüber den vier Zuckerarten Dextrose, Saccharose, Maltose und Laktose hat man die Arten dieser Gattung in sechs Untergruppen geteilt.

Untergruppe A.

Diese Hefen vergären Dextrose, Saccharose und Maltose, aber nicht Laktose.

1. Saccharomyces cerevisiae Hansen (S. cerevisiae I Hansen).
2. Saccharomyces Pastorianus Hansen (S. Pastorianus I Hansen).
3. Saccharomyces intermedius Hansen (S. Pastorianus II Hansen).
4. Saccharomyces validus Hansen (S. Pastorianus III Hansen).
5. Saccharomyces ellipsoideus Hansen (S. ellipsoideus I Hansen).
6. Saccharomyces ellipsoideus II Hansen (S. turbidans Hansen), S. Willianus Sacc. und S. Bayanus Sacc.
7. Saccharomyces Ilicis Grönlund.
8. Saccharomyces Aquifolii Grönlund.
9. Saccharomyces Vordermannii Went und Pr. Geerligs.
10. Saccharomyces Saké Yabe.
11. Saccharomyces Saccharomycetes cartilaginosus Lindner.
12. Saccharomyces pyriformis Marsh. Ward.

Untergruppe B.

Diese Hefen vergären Saccharose und Dextrose, aber nicht Maltose und Laktose.

13. Saccharomyces Marxianus Hansen.
14. Saccharomyces exiguus Hansen.
15. Saccharomyces Bailii Lindner.

Untergruppe C.

Diese Hefen vergären Dextrose und Maltose, aber nicht Saccharose und Laktose.

16. Saccharomyces Rouxii Boutroux.
17. Saccharomyces Soya Saito.

Untergruppe D.

Diese Hefen vergären Dextrose, aber nicht Saccharose, Maltose und Laktose.

18. Saccharomyces mali Duclaux.

Untergruppe E.

Diese Hefen vermögen Laktose zu vergären.

19. Saccharomyces fragilis Jörgensen.

Untergruppe F.

Diese Hefen bilden keinen Alkohol.

20. Saccharomyces Hansenii Zopf.

Saccharomyces subcutaneus tumefaciens (Curtis).
" theobromae u. sp. Preyer.
" cratericus.
" Awamori.
" minor (Engel).
" ihermantitonum.
" pinophtorus melodus n. S. p. enervans.
" fragans.
" Zopfii Artari.

2. Gattung. Hansenia Lindner.

Zellen meist zitronenförmig; im übrigen dieselben Charaktere wie in der Gattung Saccharomyces.

20 a. Hansenia apiculata Lindner (Saccharomyces apiculatus Reess).

Hansenia apiculata parasitica Lindner.

3. Gattung. Torulaspora Lindner.

Zellen kugelig, klein, mit einem großen Fetttropfen in der Mitte jeder Zelle (wie bei Torula).

21. Saccharomyces Delbrücki.

4. Gattung. Zygosaccharomyces Barker.

Diese Gattung unterscheidet sich von Saccharomyces durch eine der Sporenbildung vorausgehende Verschmelzung der Zellen, Kopulation.

22. Zygosaccharomyces Barkeri Saccardo et Sydow.
23. " Priorianus Klöcker.

5. Gattung. Saccharomycodes Hansen.

Besonders charakteristisch für diese Gattung ist die Keimung der mit einer Membran versehenen Sporen mit einem Promyzel, von welchem ebenso wie von den vegetativen Zellen Sprossung mit unvollständiger Abschnürung stattfindet. Die Sprossung vollzieht sich in den ersten Stadien wie bei den vorhergehenden Saccharomyceten, später aber wird der Sproß nicht gleichförmig abgeschnürt, sondern durch eine auftretende Querwand abgespalten (Spalthefen). Myzelbildung mit deutlichen Querwänden.

24. Saccharomycodes Ludwigii Hansen.
25. „ Behrensianus Klöcker. (Saccharomyces Cornesii Covara.)

6. Gattung. Saccharomycopsis Schiönning.

Die meisten Charaktere stimmen mit denen von Saccharomyces überein. Spore mit zwei Membranen.

26. Saccharomycopsis capsularis Schiönning.
„ guttulatus Robin.

2. Gruppe.

Die Hefe bildet in zuckerhaltigen Nährflüssigkeiten sofort eine Kahmhaut, welche darin enthaltene Luft trocken und matt erscheinen läßt. Sporen verschieden gestaltet, nur mit einer Membran, mit oder ohne vorspringende Leiste. Keimung der Sporen durch Sprossung. Viele Arten zeichnen sich durch Esterbildung aus, einige können keine Alkoholbildung bewirken.

7. Gattung. Pichia Hansen.

Spore rundlich oder halbkugelförmig oder unregelmäßig und eckig. Gärung bleibt aus. Starke Myzelbildung.

27. Pichia membranaefaciens Hansen.
28. „ taurica Seifert.
29. „ californica.
30. „ Radaisii Lutz.

31. (Saccharomyces membranaefaciens II und III?)
32. („ farinosus Lindner?)
(„ hyalosporus?)

8. Gattung. Willia Hansen.

Sporen hut- oder zitronenförmig mit vorspringender Leiste. Einige rufen überhaupt keine Gärung hervor, die meisten Arten sind kräftige Esterbildner.

33. Willia anomala Hansen (Sacch. anomalus Hansen).
34. „ Saturnus Klöcker.
35. „ belgica Lindner.
(Soya-Kahmhefe Saito?)

II. Spalthefen, Schizosaccharomycetes.

Wie in dem Namen zum Ausdruck gebracht ist, unterscheiden sich die Spalthefen von den Sproßhefen dadurch, daß sie sich nicht durch Sprossung, sondern durch Querteilung vermehren. In der zur Vermehrung schreitenden Zelle tritt eine Querwand auf, die sich von außen nach innen spaltet. Jede Zelle kann als Ascus fungieren oder aber es tritt vor der Ascusbildung Verschmelzung zweier Zellen auf, wie an Schizosaccharomyces octosporus zuerst von Schiönning gesehen wurde. Außer dem besprochenen Verschmelzungsmodus kann die Verschmelzung auch durch Ausstülpungen seitens zweier Zellen, die zusammenwachsen, herbeigeführt werden.

1. Gattung. Schizosaccharomyces.

Die Gattung Schizosaccharomyces umfaßt eine Anzahl Hefen aus heißen Klimaten (Afrika, Türkei, Kleinasien), welche sich von den übrigen Hefen durch die Art ihrer Vermehrung unterscheiden; die Zelle verlängert sich und zerfällt durch eine Querwand in zwei Töchterzellen. Die Arten der Gattung sollen übrigens niemals Glykogen führen. Ihre Sporen färben sich mit Jodjodkalium blau. Sie sind allesamt Gärungserreger.

1. Schizosaccharomyces Pombe Linder.
2. „ octosporus Beyerinck.
3. „ asporus (?).
4. „ mellacei Jörgensen.

III. Hefeähnliche Pilze

von vorläufig noch unbestimmter Stellung im System.

Hierher sind folgende Gattungen gestellt: Torula, Mycoderma, Monilia, Chalara, Oidium und Dematium, deren Arten sowohl physiologische wie morphologische Charaktere mit den Saccharomyceten in verschiedenem Grade gemeinsam haben. Nachdem die Bedingungen zur Bildung asporogener Varietäten bei den Saccharomyceten bekannt geworden sind und man weiß, daß solche asporogene Hefen auch in der freien Natur entstehen können, wird man erwarten dürfen, daß einzelne unter den hier aufgeführten Formen möglicherweise von den Saccharomyceten abstammen.

1. Gattung. Torula.

Unter Torula im heutigen Sinne fassen wir Organismen zusammen, welche eine weitgehende Ähnlichkeit mit den Saccharomyceten aufweisen, sowohl in der Form und Organisation der Zelle, als in der Art der Vermehrung durch Sprossung, als auch in ihrem physiologischen Charakter; sie unterscheiden sich jedoch von den Saccharomyceten dadurch, daß sie keine Endosporen bilden und keine typische Schimmelvegetation erzeugen, wenigstens nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse. Der Befähigung zur Alkoholbildung begegnen wir bei ihnen in allen Stufen der Ausbildung. Wir brauchen darauf kaum aufmerksam zu machen, daß es nicht ausgeschlossen ist, daß manche der Torulaarten sich dereinst als asporogene Saccharomycetenrassen erweisen.

Torula Hansen Nr. 1 bis 7.
„ Will Nr. 1 bis 17.
„ pulcherrima Lindner.

(Saccharomyces Kefyr Beyerinck?)
(„ Tyricola Beyerinck?)
(Torula sp. Saito?)
(„ Brettanomyces Bj. Claussen.)

2. Gattung. Mycoderma.

Auch die Arten der Gattung Mycoderma haben viele Eigenschaften mit den Saccharomyceten gemein, so die typische Sprossung, die Form und Organisation der Zelle; ihnen fehlt jedoch jede Fähigkeit der Alkoholbildung, sie verbrennen vielmehr im Substrat enthaltenen Alkohol, wie auch organische Säuren. Sie weisen einen ausgeprägten Aërobismus auf und bilden infolgedessen auf allen Nährflüssigkeiten, besonders auf Bier und Wein, rasch eine lufthaltige Kahmhaut, weshalb man die Mycodermaarten auch als Kahmhautpilze bezeichnet. Die Gestalt der Zellen ist meist kurz wurstförmig. Die Artunterscheidung ist schwierig, und es ist daher nicht ausgeschlossen, daß späterhin die Abgrenzung der Spezies noch abgeändert werden muß; viele heutige Arten werden in Zukunft vermutlich in mehrere Arten zerlegt werden.

Mycoderma cerevisiae Desm.
„ vini I und II Desm.
„ cucumerina Aderhold.
(„ sp. Saito?)

3. Gattung. Monilia.

Monilia candida, variabilis etc. Hansen.

4. Gattung. Chalara.

Chalara Mycoderma Cienkowski.

5. Gattung. Oidium.

Oidium lactis Fresenius.
„ albicans.
„ lupuli Matthews und Lott.
„ pullulans Lindner.

6. Gattung. Dematium.

Dematium pullulans de Bary.

7. Gattung. Sachsia.

Sachsia suaveolens Lindner.

8. Gattung. Endomyces.

Endomyces fibuliger Lindner.
Zweifelhafte Saccharomyceten.

9. Gattung. Monospora.

Monospora cuspidata Metschnikoff.

10. Gattung. Nematospora.

Nematospora Coryli Peglion.

Eine eingehende Besprechung aller dieser Arten und Formen besitzt wohl für den Mykologen und Systematiker Bedeutung, nicht aber für den Praktiker. Für diesen genügt es, einen Überblick über alle Hefearten zu besitzen, welche die mitgeteilten Zusammenstellungen in vollster Ausführlichkeit zu bieten vermögen. Es genügt daher, wenn wir uns hier etwas eingehender mit jenen Hefegattungen und Rassen beschäftigen, die in der Praxis der Gärungsgewerbe angewendet werden. Sie gehören zur Gattung Saccharomyces cerevisiae (Bierhefen, Brennerei- und Preßhefen, Bäckerhefen) und Saccharomyces ellipsoideus (Weinhefen). Außerdem werden wir noch einige „wilde Hefen" (z. B. Saccharomyces Pastorianus, validus, turbidans), dann Kahmhefen (Mycoderma) Saccharomyces apiculatus, Torulahefen 2c. zu besprechen haben.

A. Kulturhefen.

I. Bierhefen.

Die in der Bierbrauerei verwendeten Hefen (Saccharomyces cerevisiae) sind meist untergärig, seltener obergärig. Ein scharfer Unterschied zwischen beiden Formen besteht nicht,

schon bei Besprechung der Variationen haben wir darauf hingewiesen, daß Übergänge zwischen beiden Arten beobachtet worden sind.

1. Untergärige Brauereihefen.

Die untergärigen Bierhefen sind Kulturformen, die sich durch zwei Erscheinungen auszeichnen. Sie sind an niedere Temperaturen angepaßt und daher befähigt, die Gärung bis zu dem gewünschten Grade bei den in der Brauerei gebräuchlichen geringeren Wärmegraden durchzuführen, ferner besitzen sie klebrige Zellhäute und bilden daher nach Beendigung der Gärung einen dichten, auf dem Boden des Gärgefäßes liegenden, festen Bodensatz. Dies hat zur Folge, daß sich die vergorene Flüssigkeit leicht klärt, auch der Schaum der gärenden Würze ist arm an Hefezellen und daher „glasig". Die von den Zellen ausgeschiedenen Schleimmassen können zur Entstehung des „gelatinösen Netzwerkes" (siehe S. 90) Anlaß geben. Das mikroskopische Bild von Saccharomyces cerevisiae und des gelatinösen Netzwerkes veranschaulichen die Abbildungen Fig. 6 und Fig. 7.

Wie erwähnt, besteht ein einschneidender Unterschied zwischen ober- und untergärigen Hefen nicht und beide Arten können ineinander übergehen. Chemisch unterscheiden sie sich jedoch fast ganz zuverlässig durch ihr Verhalten zu der Zuckerart „Raffinose". Untergärige Hefen vermögen Raffinose vollständig, obergärige dagegen nur in sehr geringem Grade zu vergären.

Charakteristisch ist auch die Hautbildung und der sich an der Flüssigkeitsgrenze an den Gefäßwandungen abscheidende „Hefering". Bei untergärigen Bierhefen tritt die Hautbildung etwas später ein als bei obergärigen, die Zellen der Haut sind etwas kleiner, fettreich und derbwandig. In den „Heferingen" treten zahlreiche große, dickwandige und fettreiche Dauerzellen auf.

Von einer guten untergärigen Bierhefe verlangt man, daß sie einen bestimmten Vergärungsgrad liefert, sich gut und rechtzeitig absetzt und sowohl guten Geschmack als auch gutes Aroma liefert. Nach dem zu erzielenden Vergärungsgrade

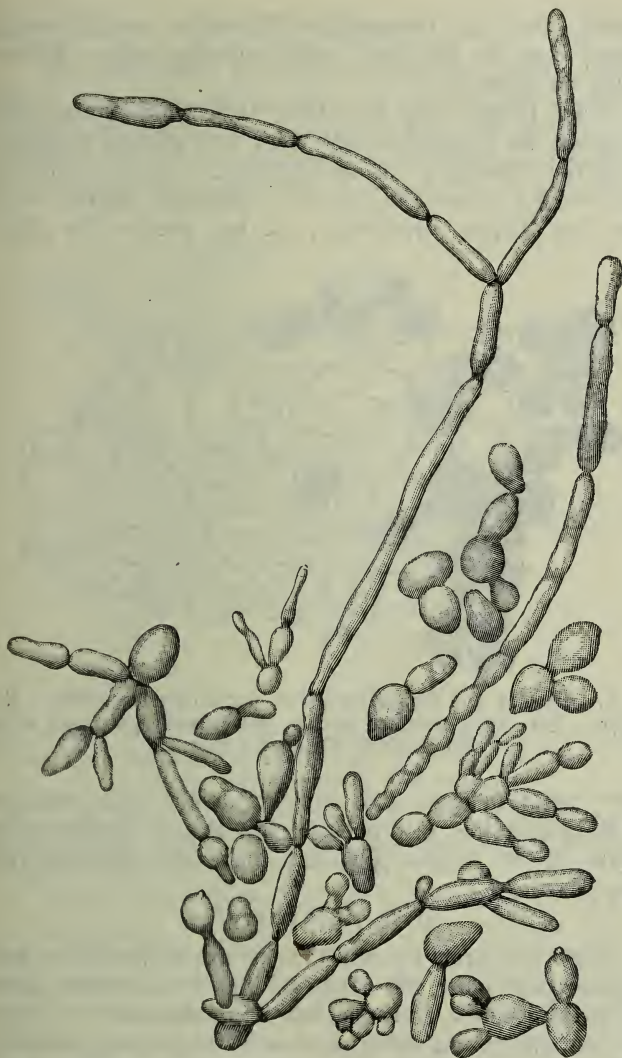


Fig. 6. Saccharomyces cerevisiae I. Hansen. Zellenformen in alten Kulturen von Häuten, nach Hansen.

beurteilt, sind die untergärigen Bierhefen verhältnismäßig schwach, denn sie sind meist nicht imstande, größere Alkoholmengen zu bilden.

Doch besteht auch hier keine feststehende Norm, denn wir haben im besonderen doch hoch und niedrig vergärende untergärige Bierhefen zu unterscheiden. Zu den ersten gehören — wie schon auf S. 72 ausgeführt wurde — die Hefen des Typus „Frohberg", zu den zweiten die „Saaz-

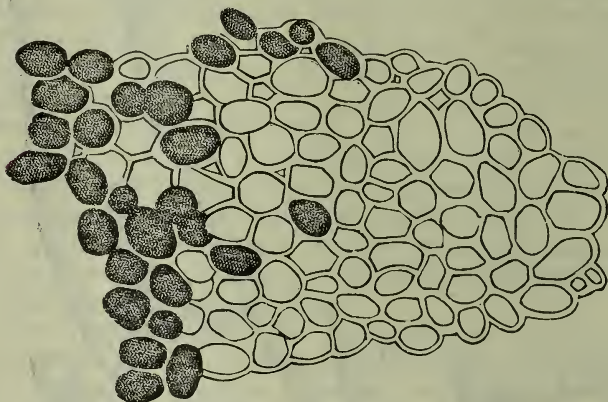


Fig. 7. Hefezellen mit der Bildung des gelatinösen Netzwerkes. Nach Hansen. Die dunkel gefärbten Partien sind Hefezellen, die noch in den Maschen des Netzwerkes liegen.

hefen", zwischen denen auch mittelvergärende Hefen auftreten. Die Saazhefen sind viel empfindlicher als die Frohberghefen, deshalb ist der Typus Frohberg auch viel zahlreicher vertreten.

Hefe „Frohberg".

Die Hefe Frohberg bildet in frischer Würzelösung meist länglich-eiförmige, 8 bis 10·4 : 7·2 bis 4·8 μ große Zellen, zeigt ziemlich starke Körnung des Protoplasmas und besitzt meist nur kleine Vakuolen, in denen sehr häufig rundliche, bis 2·4 μ große fetthaltige Körperchen auftreten. (Fig. 8 nach W. Henneberg.)

Hefe „Saaz".

Die Hefe Saaz bildet sehr verschieden große, eiförmige Zellen, nicht selten „Riesenzellen", die 15·2 : 14·4 μ groß sind. Auch die Vakuolen sind sehr groß und fast in jeder Zelle vorhanden, doch treten die für Hefe Frohberg charakteristischen runden fetthaltigen Körperchen nicht auf (Fig. 8 nach Henneberg). Sie ist auch viel empfindlicher, was sich in bei weitem rascheren Absterben der Zellen äußert.



Fig. 8. Untergärige Hefe Typus „Frohberg". a Zellen aus der Würzegärung; a_1 aus der Tröpfchenkultur nach 24 Stunden bei 20°. Vergr. 1000. Nach W. Henneberg.

Weitere Unterschiede zwischen beiden Hefearten sind nach W. Henneberg folgende: Im feuchten Zustande lebt auf Watte Hefe Frohberg bei 22° etwa 3 Wochen, über 30° C weniger als eine Woche, während die Hefe Saaz bei Temperaturen über 15° C nur eine Woche am Leben bleibt. Das Optimum für das Wachstum auf Würzeagar liegt für beide Hefen zwischen 25 und 26° C; das Maximum für Hefe Frohberg liegt bei 35°, für Saaz etwa bei 33°. Gärung in Würze

findet bei Frohberg noch bei 35°, bei Saaz nur bis 33° statt. Frohberg vergärt in Würze weiter als Saaz. Henneberg erzielte beispielsweise in einer Würze von 13·7° Balling mit Frohberg eine Vergärung bis 2·9, mit Saaz nur bis 4·3° Balling. Nach Zusatz von Zucker und Pepton wurden mit



Fig. 9. Untergärige Hefe Typus „Saaz". Reihe a, einfaches Präparat aus der Würzegärung; a_1 und a_2 Verbände aus der Tröpfchenkultur nach 24 Stunden bei 20°. a_1 normaler, a_2 Riesenzellverband. Die Verbände sind teilweise annähernd symmetrisch, fallen aber leicht auseinander. Typisch sind die großen Vakuolen. Vergr. 1000. Nach W. Henneberg.

Frohberg 9, bei Saaz nur 8 Volumprozent Alkohol erzielt. Niedrige Vergärungsgrade lassen sich übrigens auch mit Hefen vom Frohbergtypus erzielen. Sehr stark flockige Frohberghefen setzen sich im Gärbottich sehr rasch ab und vergären daher auch weniger weit.

2. Obergärige Brauereihefen.

Die obergärigen Brauereihefen bilden nur eine lockere, leicht aufzuwirbelnde Bodensatzhefe, der Schaum ist sehr hefehaltig und mit Wasser verrieben liefern die obergärigen Hefen eine milchige Flüssigkeit, die sich nur sehr schwer und langsam

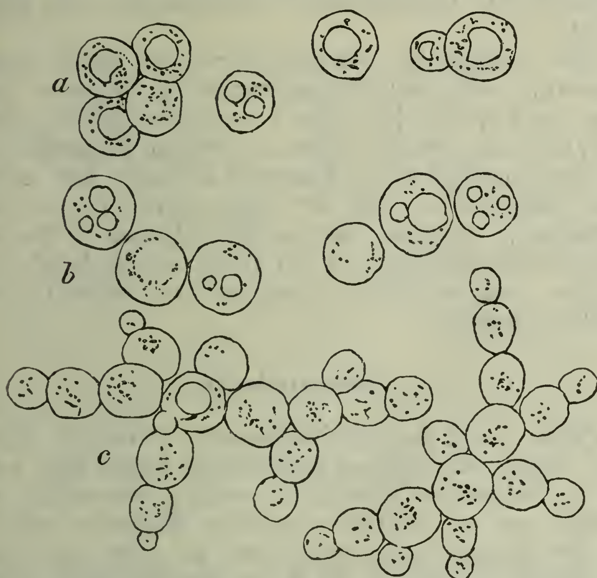


Fig. 10. Obergärige Brauereihefe „B". Reihe a, Zellen aus dem Hefeschaum; Reihe b, Zellen aus dem Bodensatze einer 24stündigen Gärung; Reihe c, Sproßverbände aus der Tröpfchenkultur nach 24 Stunden bei 17°. Typisch sparriges Wachstum. Vergr. 1000. Nach W. Henneberg.

absetzt. Diese Erscheinungen beruhen darauf, daß die Zellen der obergärigen Hefe keine oder doch nur eine sehr gering ausgebildete Schleimhülle besitzen. Die Sproßverbände sind sparrig und oft ganz symmetrisch gebaut. (Fig. 10 nach Henneberg.)

Raffinose wird fast gar nicht vergoren, Ring- und Haut-

bildung tritt rascher und kräftiger ein als bei untergäriger Hefe. Die Gärung mit Oberhefe verläuft stürmischer und die Zellen vermehren sich rascher, was zum Teil aber auch auf die höheren Temperaturen zurückzuführen ist, bei denen die Obergärung durchgeführt wird. Beispiele für obergärige Bierhefen sind die Hefen der englischen Porterbiere, des Berliner Weißbieres, des Lichtenhainers, der Braunbiere, der Malzbiere usf.

Das Institut für Gärungsgewerbe zu Berlin züchtet gegenwärtig nach dem Lüftungsverfahren besonders zwei Rassen von Oberhefe, die „Hefe A“ und die „Hefe B“. Nach W. Henneberg ist die „Hefe A“ schwach vergärend und besitzt die Hinfälligkeit der Saazhefe, entspricht also diesem Typus, während die „Hefe B“ hochvergärend ist und dem Frohbergtypus entspricht. Sie bewährt sich auch in Berliner Weißbierbrauereien sehr gut, ist jedoch als Bäckerhefe unbrauchbar, weil der Teig zu langsam, wenn schließlich auch vollständig, aufgeht.

II. Brennereihefen.

Hefen, die in der Spiritusbrennerei verwendet werden sollen, müssen mit gewissen Eigenschaften begabt sein, wenn auch ein besonderer Unterschied zwischen den obergärigen Bierhefen und den ebenfalls obergärigen Preßhefen nicht besteht. Von Brennereihefen verlangt man vor allem eine ruhige, rasch verlaufende Gärung mit starker Alkoholbildung, außerdem müssen diese Hefen Säure gut vertragen, weil die Gärung in ziemlich stark sauren Flüssigkeiten verläuft. Auf andere Eigenschaften, die für die Brauerei wesentlich sind, wie gutes Absetzen, Auftrieb ꝛc., legt man dagegen in der Spiritusbrennerei keinen besonderen Wert. Diesen Anforderungen entsprechen auch manche obergärige Bierhefen, die früher sehr häufig als Anstellhefen für Brennereien benutzt wurden. Heute arbeitet man in allen rationell vorgehenden Spiritusfabriken mit Reinhefen, von denen besonders die von dem Institut für Gärungsgewerbe zu Berlin gezüchtete „Rasse II“ die größte Bedeutung erlangte.

Brennereihefe, Rasse II.

Diese Hefe wurde im Jahre 1889 von Lindner aus der Betriebshefe einer Brennerei isoliert und wird seither unausgesetzt fortgezüchtet und in Reinkulturen abgegeben. Von der gewöhnlichen obergärigen Hefe weicht sie in mancher Hinsicht ab; W. Henneberg beschreibt sie folgendermaßen (Fig. 11):

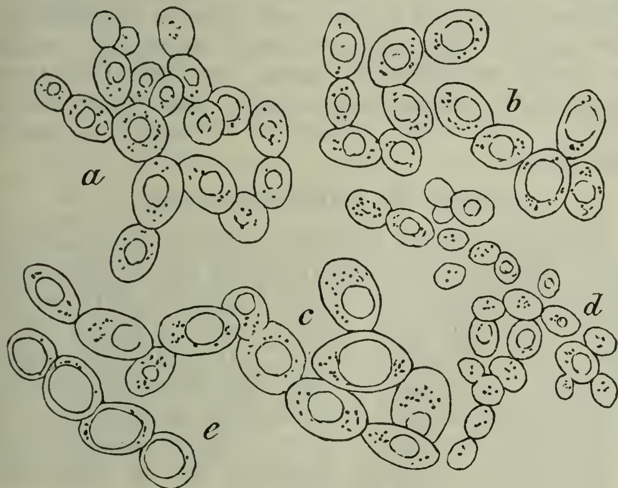


Fig. 11. Brennereihefe Rasse II. a bis d, Wachstum der Zellen in der Tröpfchenkultur (Würze). a und b normale Zellen; c Riesenzellen; d Zwergzellen. Zusammenhängende Verbände fehlen; e eiweißarme Hungerzellen. Vergr. 1000. Nach W. Henneberg.

Die Form der Zellen ist meist länglich-eiförmig. Die Vakuolen sind in der Regel sehr deutlich und groß, besonders in nährstoffarmen Flüssigkeiten bilden sich sehr große Vakuolen, die Vermehrung ist dann äußerst gering. Die Sproßverbände in der Tröpfchenkultur hängen nur sehr wenig zusammen. Nach einigen Tagen entstehen hier Haufen von meist einzelnen Zellen, die eine auffallend große, scharf abgegrenzte Vakuole besitzen. Charakteristisch für diese Rasse

sind die verschieden großen Zellen, fast immer finden sich kleinzellige Gruppen neben großzelligen.

In der gärenden Flüssigkeit sind die Zellen meist einzeln, zu 2, selten zu 3 bis 4 vereint. Die Hautbildung stellt sich auf vergorenen Flüssigkeiten erst spät, z. B. am 13. Tage ein. Meist bildet sich eine zarte „Staubhaut“ ohne inneren Zusammenhang, so daß sich die Flüssigkeit leicht trübt. Festeren Zusammenhang weist nur der am Gefäßrande sich bildende „Hefenring“ auf. Der Schaum auf gärenden Flüssigkeiten ist feinblasig, sehr hefig und bleibt meist längere Zeit erhalten. Dies beruht wahrscheinlich darauf, daß diese Hefe eiweißähnliche Stoffe auszuscheiden vermag; damit steht auch die bei Rasse II sehr häufig auftretende Schaumgärung im Zusammenhange.

Hefen für Melassebrennereien.

Melassebrennereien bedürfen der ganz anders zusammengesetzten Maische wegen anderer Hefen, als die Getreidedickmaisch- und Kartoffelbrennereien. Besonders ist es der hohe Salzgehalt der Melassen, welcher hier sehr großen Einfluß ausübt. Als Anstellhefe benutzt man vielfach untergärige Bierhefen, doch entsprechen diese nicht allen Anforderungen, besonders wenn konzentriertere Melassen zu verarbeiten sind. Die Rübenzuckermelassen enthalten auch oft ziemlich ansehnliche Mengen der Zuckerart Raffinose, die bei Verwendung von Unterhefe ebenfalls vergoren wird.

Als die besten Hefen für Melassebrennereien müssen wir heute die Weinhefen ansehen. Sie sind genügsam, vergären alle vorhandenen Zuckerarten, vertragen den hohen Salzgehalt der Melassen dauernd gut und vergären bei hoher Temperatur ziemlich rasch. Vorzüglich bewährten sich die zur Darstellung gewisser Weinsorten in südlichen Ländern dienenden Hefen, besonders Tokayerhefen, Sherryhefen und solche aus Südfrankreich.

III. Hefen für Preßhefefabriken.

Die in den Preßhefefabriken erzeugten Hefen werden fast ausschließlich im Bäckergewerbe zur Lockerung des Teiges

verwendet. Sie müssen daher einerseits zu diesem Zweck geeignet sein, anderseits aber auch Eigenschaften besitzen, die sie zur Verwendung in den Hefefabriken brauchbar machen. Vor allem verlangt man nach dieser Richtung die Fähigkeit, sich rasch und kräftig zu vermehren, dann muß die Hefe ziemlich viel Säure vertragen, sie muß haltbar sein und sich gut abpressen lassen. Der Bäcker fordert von der Hefe, daß sie große „Triebkraft" besitzt, also den Teig in kurzer Zeit zum Aufgehen bringt und in der richtigen Weise lockert, er soll mit zahlreichen kleinen, gleichmäßig verteilten Poren durchsetzt sein. Endlich müssen die Bäckerhefen reinen Geruch und Geschmack und eine natürliche weiße oder gelbliche Farbe besitzen.

Diesen Anforderungen entspricht am besten die „Rasse XII" des Berliner Institutes für Gärungsgewerbe, die auch in Brennereien sehr gut brauchbar ist. Für Backzwecke sind jedoch auch manche Weinhefen verwendbar, ebenso wie viele Brennereihefen und obergärige Bierhefen. Dagegen sind untergärige Bierhefen minder geeignet. Sie besitzen allerdings eine höhere Triebkraft als die Preßhefen, doch sind sie gegen höhere Temperaturen weit empfindlicher und gehen daher rascher zugrunde. Damit hängt es wohl auch zusammen, daß bei ihrer Verwendung der Teig rascher zusammenfällt und das Gebäck fester wird. Auch verursachen sie die Dunkelfärbung des Teiges, die sich allerdings dadurch umgehen läßt, daß man die Hefe vor der Verwendung mit Weinsäure oder kohlensaurem Ammon wäscht. Durch das Waschen wird auch der bittere Geschmack, welcher vom Hopfenbitter verursacht wird, entfernt — allerdings sind alle Versuche, durch entsprechende Behandlung aus der untergärigen Brauereihefe eine allen Anforderungen entsprechende Bäckerhefe darzustellen, mißlungen.

Brennerei- und Preßhefe, Rasse XII.

Die Hefe der Rasse XII stammt aus einer süddeutschen Preßhefefabrik und wurde im Jahre 1902 von Matthes reingezüchtet und in die Praxis eingeführt. W. Henneberg beschreibt diese Rasse (Fig. 12) folgendermaßen:

Die Zellen sind meist rundlich-eiförmig und besitzen oftmals nur wenig deutliche Vakuolen. Das Wachstum ist stets schneller als bei der Rasse II. Im hängenden Würzetröpfchen waren beispielsweise aus einer Zelle nach 24 Stunden 55,



Fig. 12. Brennereihefe Rasse XII. Typisch sparrige, vielzellige Verbände. a, b, c normale, d und e Riesenzellverbände. Tröpfchenkultur nach 24 Stunden bei 20°. Vergr. 1000. Nach W. Henneberg.

bei Rasse II nur 37 neue Zellen entstanden. Wie alle typischen obergärigen Hefen bildet Rasse XII schöne symmetrische Sproßverbände, die fest zusammenhängen. Mehrzellige Sproßverbände finden sich ebenfalls in gärenden und vergorenen

Flüssigkeiten, auch nach dem Absterben verbleiben die Zellen oft noch im ursprünglichen Zusammenhange. Die mittleren Zellen der 4- bis 14-, bisweilen auch 20zelligen Sproßverbände sind stets größer als die jüngeren Endzellen.

In der gelüfteten Würze der Lufthefefabriken bilden sich 3- bis 5zellige Verbände. Da die Vermehrung meist, wie die Ausbeutebestimmung ergibt, eine 8- bis 9fache ist, so findet also eine teilweise Trennung der Zellen statt. Beim Zentrifugieren und Abpressen trennen sich die Zellen fast gänzlich, so daß in der abgepreßten Hefe mehrzellige Sproßverbände fehlen.

Auf vergorenen Flüssigkeiten bildet sich ziemlich schnell, bei 28° schon nach 6 Tagen, eine dickliche, feuchtglänzende, weiße Haut, die bei Erschütterung des Kulturgefäßes in einzelnen, mehr oder weniger großen Stücken untersinkt. Auf diese Weise entsteht über der eigentlichen, fester liegenden Bodensatzhefe eine Schicht leicht beweglicher, loser Massen. Nur am Rande des Gefäßes bleibt an der Flüssigkeitsgrenze dauernd ein fester Hefering zurück.

In gärenden Flüssigkeiten ist die Trübung infolge des Vorhandenseins von Sproßverbänden nur mäßig stark. Der Schaum ist aus demselben Grunde mehr glasig, d. h. weniger hefehaltig. Die Bodensatzhefe liegt ziemlich fest und zeigt viele mäßig breite Vertiefungen.

In Mischkulturen von Rasse XII und Rasse II siegt die Rasse XII nach langer Führung in sauren Getreidemaischen. Rasse XII unterliegt bei längerer Führung in der Kartoffelbrennerei sehr leicht der Variation.

Henneberg beschreibt ferner auch eine flockige Preßhefe, die etwas langgestreckte Zellen besitzt und Raffinose nicht vergärt. Sie bewährte sich in Hefefabriken, die ohne Zentrifuge arbeiten wollen, ihrer stark flockigen Beschaffenheit wegen. Da sie sich ähnlich wie die normale untergärige Bierhefe leicht absetzt, kann sie ziemlich gut ausgewaschen werden. Triebkraft und Haltbarkeit waren günstig, das „Pfunden“ konnte leicht ausgeführt werden.

IV. Weinhefen.

Die Weinhefen gehören zur Gattung Saccharomyces ellipsoideus und sind stets in großen Mengen auf reifen Weintrauben anzutreffen. Mit diesen gelangen sie in die daraus dargestellte Maische, wo sie sich alsbald rasch vermehren. Im Gegensatze zu den Kulturhefen sind aber die Weinhefen insofern keine Kulturformen, weil sie stets in der Natur anzutreffen sind, freilich wissen wir heute, daß fast jedes Weinbaugebiet, das Weine mit spezifischem Sortencharakter erzeugt, auch seine besonderen Heferassen der Gattung ellipsoideus besitzt. Diese Rassen erzeugen verschieden riechende und schmeckende Stoffe und diese sind es, die dem Weine seine besonderen charakteristischen Eigenschaften verleihen. In der Tat ist es möglich, unter Verwendung von reingezüchteten Weinhefen Weine mit besonderem Charakter zu erzeugen, wovon noch im Abschnitte über die Verwendung der Hefe in der Weinbereitung des näheren die Rede sein wird.

Im Moste treten jedoch die Weinhefen zunächst untereinander und auch mit anderen Organismen in Wettbewerb, aus denen sie schließlich als Sieger hervorgehen. Diesen Kampf der Arten haben wir auf S. 68 schon geschildert, es sei deshalb an dieser Stelle darauf verwiesen.

Jedenfalls müssen wir daran festhalten, daß wir unzählige Rassen von Weinhefen unterscheiden müssen. Dies ist auch erklärlich, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß unsere Brauerei- und Brennereihefen eben Kulturhefen in der vollsten Bedeutung des Wortes sind, d. h. sie gingen unter den Bedingungen, in denen sie Jahrhunderte hindurch in diesen Gewerben fortgezüchtet wurden, durch Auslese aus der Stammform, die — wie wir wohl mit Sicherheit annehmen können — eine Weinhefe war, hervor.

Saccharomyces ellipsoideus.

Saccharomyces ellipsoideus oder auch Saccharomyces ellipsoideus I Hansen genannt (Fig. 13), ist untergärig. Diese Hefe vermag Saccharose, Dextrose, Lävulose und Maltose zu vergären, Laktose dagegen nicht. Obwohl die

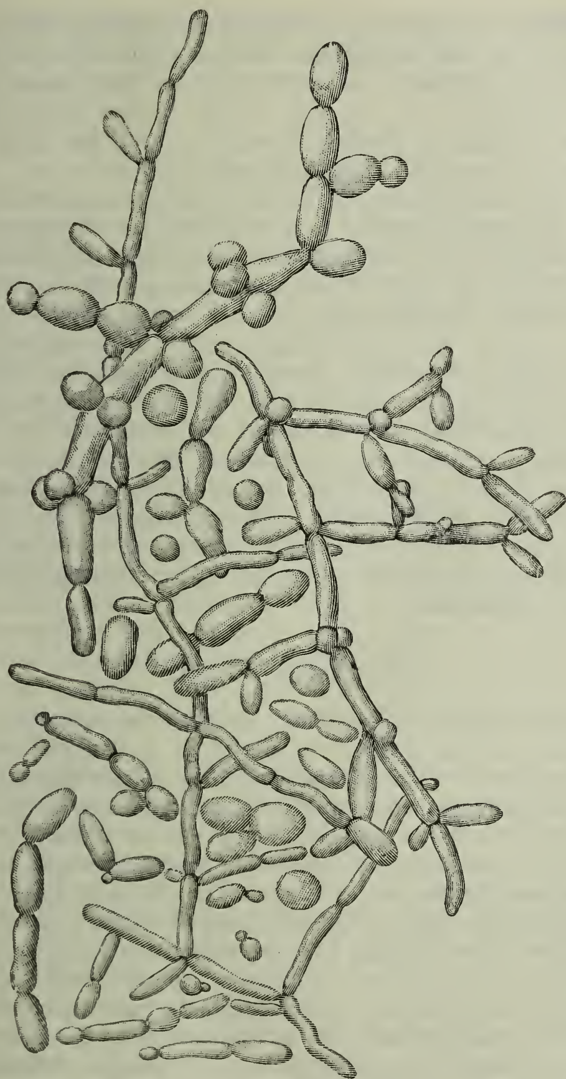


Fig. 13. Saccharomyces ellipsoideus I. Hansen. Hautformen bei 13 bis 15°. Nach Holm.

Weinhefen untergärig sind, liegt der Bodensatz doch nie so fest, wie bei den untergärigen Bierhefen. Wird die vergorene Flüssigkeit geschüttelt, so verteilt sich die Hefe staubartig in der Flüssigkeit und nur sehr wenige Rassen bilden große, zusammenhängende Flocken. Charakteristisch ist ihre reiche und frühzeitig eintretende Sporenbildung.

Die verschiedenen Rassen von Saccharomyces ellipsoideus verhalten sich nicht nur hinsichtlich der Geschmack- und Bukettbildung sehr verschieden, sondern zeigen auch bedeutende Unterschiede im Alkoholbildungsvermögen und im Verlaufe der Gärung. Bemerkenswert ist, daß manche Rassen noch in 60prozentiger Rohrzuckerlösung und in sehr konzentrierten Malzwürzen zu gedeihen vermögen, ein Verhalten, das bei der Herstellung der „Maltonweine“ benutzt wird. In konzentrierten Zuckerlösungen vermögen die Weinhefen viel mehr Alkohol zu erzugen als die Gattung Saccharomyces cerevisiae. Auf einzelne Rassen der Gattung ellipsoideus, die Riech- und Geschmackstoffe, die sie während der Gärung produzieren, und ihren Einfluß auf die Sorteneigenschaften des Weines, werden wir in einem später folgenden Abschnitte noch zurückkommen.

B. „Wilde Hefen“.

Wie wiederholt erwähnt, verstehen wir unter der Bezeichnung „wilde Hefen“ im Gegensatze zu jenen Arten und Rassen, die in den Gärungsgewerben planmäßig gezüchtet und angewendet werden, solche Formen, die stets und fast überall in der Natur anzutreffen sind und die in den Gärungsgewerben nicht nur nicht verwendet werden, sondern oft auch unliebsame Störungen hervorzurufen vermögen. Dies betrifft allerdings durchaus nicht alle „wilden Hefen“, denn viele von ihnen sind gänzlich harmlos und daher unschädlich oder sie gehen, in eine gärende Flüssigkeit gebracht, bald zugrunde. Jene „wilden Hefen“, welche schädlich wirken können, bewirken die Schädigung auf verschiedene Art. So können sie Nebengärungen hervorrufen oder zu Trübungen Anlaß geben, sie wirken ungünstig auf den Geruch und Geschmack der ver-

gorenen Flüssigkeit oder setzen die „Triebkraft" der Preßhefe herab usf. Wir müssen, ihrer allgemeinen Bedeutung wegen, daher auch die wichtigsten Arten der „wilden Hefen" besprechen.

Auch die „wilden Hefen" gedeihen, gleich den Kulturhefen, nur unter besonderen Lebensbedingungen. Da diese nun nicht in allen Gärungsgewerben in gleicher Weise vorhanden sind oder geboten werden, so folgt daraus, daß nicht alle schädlichen Arten der „wilden Hefen" in allen Gärungsgewerben nachteilig auftreten werden, oder umgekehrt, daß jedes Gärungsgewerbe mit besonderen Arten „wilder Hefe" als Schädlinge zu rechnen hat.

Am günstigsten ist es nach dieser Richtung in der Spiritusfabrikation bestellt. Hier sind die Bedingungen, unter denen die Maische vergoren wird, derart, daß Schädlinge der Gattung „Hefe" nicht aufzukommen vermögen. In der Bierfabrikation können einerseits Weinhefen (Saccharomyces ellipsoideus) ungünstig wirken, anderseits die Pastorianusarten, wie Saccharomyces Pastorianus I und III, ferner gewisse Kahmhefen und einige Torulaarten. Kahmhefen und Exiguushefen sind ungebetene Gäste der Preßhefefabrikation. Sie vermehren sich ungemein rasch, zeigen aber kein oder doch nur ein sehr geringes Gärungsvermögen. Treten sie daher in größeren Mengen in der Preßhefe auf, so besitzt diese nur eine sehr geringe Triebkraft und ist für Bäckerzwecke ungeeignet.

Hefeformen, die sich in der Weinbereitung ungünstig bemerkbar machen können, sind die Apiculatushefen (Saccharomyces apiculatus) und gewisse Kahmhefen. Die Apiculatushefen verhindern die Entwicklung der eigentlichen Weinhefen (Saccharomyces ellipsoideus), die Kahmhefen verändern den Geruch und Geschmack des Weines, indem sie die Bukettstoffe und die freie Säure vernichten und die Ansiedlung des Essigbakteriums vorbereiten.

Kahmhefen treten endlich auch als Schädiger der Essigfabrikation auf, indem sie die Entwicklung der Essigpilze unterdrücken und Alkohol wie Essigsäure zerstören.

Endlich ist zu erwähnen, daß sich unter den „wilden

Hefen" auch einige zwar harmlose, aber doch durch ihr Verhalten bemerkenswerte Arten, meist exotischer Herkunft, befinden. Der wichtigste Vertreter dieser Gruppe ist Saccharo-

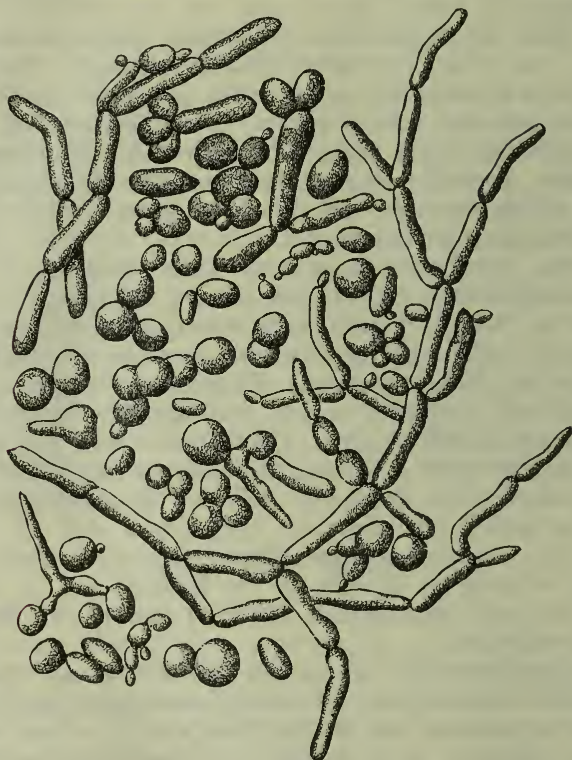


Fig. 14. Saccharomyces Pastorianus I. Hansen. Hautformen bei 13 bis 15°. Nach Holm.

myces Pombe, dessen Eigenschaften wir ebenfalls kurz erörtern werden.

Saccharomyces Pastorianus I.

Diese Hefeart wird gegenwärtig als Saccharomyces Pastorianus bezeichnet. Sie ist untergärig und erteilt, allein

oder mit guter Stellhefe vermengt verwendet, dem Biere einen unangenehmen Geruch und eigentümlichen, bitteren Geschmack. Ferner bewirkt Saccharomyces Pastorianus, daß sich das Bier während der Hauptgärung nicht gut klärt, er kann auch Hefetrübungen verursachen. Bei der Gärung der Würze bildet dieser Pilz langgestreckte, eiförmige und rundliche Zellen (Fig. 14). Auf der vergorenen Flüssigkeit bilden sich frühestens nach 7 bis 10 Tagen bei 26 bis 28° kleine Hautinseln, deren Zellen ähnliche Formen wie die Bodensatzhefe zeigen. Die bei 13 bis 15° in 15 bis 30 Tagen ausgebildeten Häute enthalten häufig neben runden und eiförmigen Zellen solche von langer Form, die zu Sproßverbänden vereinigt sind.

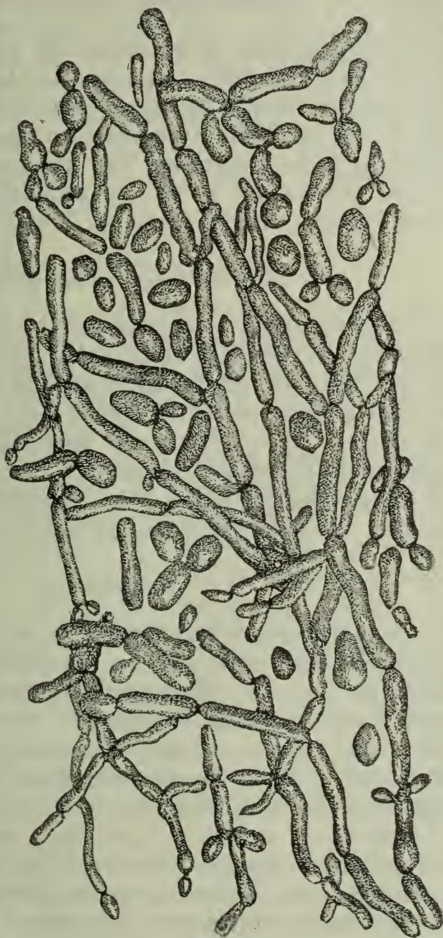


Fig. 15. Saccharomyces Pastorianus III. Hautformen bei 13 bis 15°. Nach Hansen.

Saccharomyces Pastorianus III.

Eine ebenfalls in der Brauerei auftretende Krankheitshefe ist Saccharomyces Pastorianus III, jetzt meist als Saccharomyces validus bezeichnet. Sie wirkt dadurch nachteilig, daß sie, wenn sie in der Stellhefe vorhanden ist, Trübungen veranlaßt. Die Häute, die sich auf vergorenen Flüssigkeiten bilden, bestehen bei 3 bis 15° aus sehr langgestreckten, oft fadenförmigen, häufig Verbände bildenden Zellen (Fig. 15).

Saccharomyces ellipsoideus II.

Saccharomyces ellipsoideus II, gegenwärtig meist als Saccharomyces turbidans Hansen bezeichnet, ist eine der für das Bier gefährlichsten Krankheitshefen. Diese Art ist untergärig oder obergärig und veranlaßt starke Trübungen des Bieres. Die Zellen dieses Pilzes sind in mancher Hinsicht der Kulturhefe (Saccharomyces cerevisiae) sehr ähnlich. In alten Häuten bilden sich Sproßverbände mit langgestreckten, oft quirlförmig angeordneten Zellen.

Kahmhefen.

Die Kahmhefen sind Schädlinge der Brauerei und Weinbereitung, dann aber auch der Preßhefefabrikation und der Weinessig- und der Sauergurkenerzeugung. Sie wirken dadurch nachteilig, daß sie Alkohol und Essigsäure verzehren und damit zusammenhängend unerwünschte Geschmacks- und Farbeveränderungen hervorrufen. Von solchen Kahmhefen befallener Wein wird schal und fade und verliert gänzlich den Weincharakter, ähnliches findet statt, wenn Kahmhefen sich auf gesäuerten Gurken einstellen. Auf die Rolle, welche die Kahmhefen unter Umständen in der Preßhefefabrikation spielen können, wurde oben schon hingewiesen. Gemeinsam ist allen Kahmhefen, daß sie sich bei reichlichem Luftzutritt besonders üppig entwickeln, daher siedeln sie sich mit Vorliebe an der Oberfläche alkohol- und säurehaltiger Flüssigkeiten an.

Für die Spiritusfabrikation sind die Kahmhefen ohne Bedeutung, besonders günstige Entwicklungsbedingungen finden

sie dagegen bei der Lufthefefabrikation, während die nach dem alten Verfahren gewonnenen Bäckerhefen meist keine Kahmhefen enthalten, denen hier die Bedingungen zur Entwicklung fehlen. Auch die Kahmhefen treten in sehr vielen Arten oder Rassen auf, am besten studiert sind die Arten Mycoderma a und b, die J. Henneberg eingehend beschrieben hat. Gegenwärtig bezeichnet man sie als Mycoderma variabilis und Mycoderma „b" (Henneberg).

Mycoderma a (variabilis) und b.

Beide Hefearten fanden sich eine Zeitlang öfters in den in der Berliner Hefezuchtanstalt im großen gezüchteten Brennereihefen vor, und zwar zuerst in geringer Menge, dann um so häufiger, je öfter die Hefe geführt wurde. Delbrück beschreibt beide Arten folgendermaßen:

Auf Würzegelatine sind die Kolonien der Kahmhefe a linsenförmig und gelblichweiß, die der Hefe b flach und wie mit Mehl bestäubt. Auf alkoholhaltigen Flüssigkeiten ist die Kahmhaut von a deutlich gelb, grob gefaltet, in größere Stücke zerfallend, bei b dagegen zerteilt sie sich beim Bewegen des Kulturgefäßes in eine feine, staubförmige Masse. Die Zellen besitzen verschiedene Gestalt und verschiedene Größe (Fig. 16). Es finden sich oft nebeneinander kleine eiförmige, länglich eiförmige, typische Kahmhefezellen, langgestreckte Zellen und myzelartige, fadenförmige Formen. Während die typischen Kahmhefezellen etwa 8·4 μ lang und 3·8 μ breit sind, messen die fadenförmigen Formen etwa 255 : 2·8 μ. Auf Bier ist die Kahmhaut der Rasse Mycoderma variabilis aus eiförmigen Zellen zusammengesetzt.

Besonders günstige Wachstumsbedingungen finden diese Hefen auf festgepreßter Kulturhefe (Rasse II und XII), indem sich hier Kolonien ähnlich wie auf Gelatine bilden. Das Temperaturoptimum liegt für beide Kahmhefearten bei 32 bis 41°, das Minimum nach 24 Stunden bei 14°, später bei zirka 5°. Das Temperaturmaximum des Wachstums beträgt etwa 46°. Durch rasches Erhitzen bis auf 65° und ebenso durch 5 Minuten anhaltendes Erhitzen auf 60° werden

beide Arten getötet. Sie vergären am leichtesten Dextrose, Lävulose und Galaktose, weniger Maltose und Dextrin, dagegen gar nicht Milchzucker, Rohrzucker, Raffinose und Inulin.

Charakteristisch für die Kahmhefen ist ihre Fähigkeit, in zuckerhaltigen Flüssigkeiten neben Alkohol auch Essigäther,

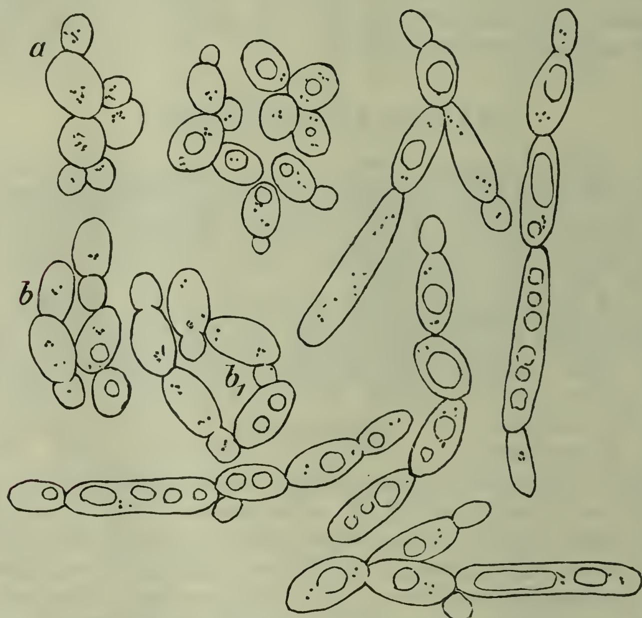


Fig. 16. Mycoderma variabilis (Kahmhefe). Reihe a. Zellen aus Tröpfchenkulturen nach 24 Stunden bei 27 bis 37°; Reihe b. Tröpfchenkultur bei 17° Kahmhäute auf Flüssigkeiten enthalten häufig die Zellform b_1. Vergr. 1000. Nach W. Henneberg.

der deutlich am Geruche zu erkennen ist, zu produzieren. Wenn die Kahmhäute in alkoholhaltigen Flüssigkeiten nicht untersinken, wenn ihnen also dauernd reichlich Luft zur Verfügung steht, so verzehren sie den Alkohol ziemlich rasch. So war z. B. bei einem Versuche binnen 13 Tagen der Alkoholgehalt von 7 Prozent auf 1·6 Prozent zurückgegangen. Gegen

Milchsäure sind die Kahmhefen sehr widerstandsfähig, sie vermögen auf Maischen mit 5 Prozent Milchsäure fortzukommen, auch auf solchen, die 6·4 Prozent enthielten, siedelte sich Mycoderma noch nach 25 Tagen an. Auch die Milchsäure wird — ebenso wie Essigsäure — von den Mycodermaarten verzehrt. Gegen Essigsäure sind sie allerdings empfindlicher, doch ist nach dieser Richtung das Verhalten der Arten durchaus nicht gleich. Während manche Arten sich bei einem Gehalte von 0·7 Prozent Essigsäure nicht mehr zu entwickeln vermochten, konnten sich andere noch auf 3prozentiger Essigsäure entwickeln.

Auf die Gärung der Kulturhefe üben die Mycodermaarten in der Brennerei keinen nachteiligen Einfluß aus, sie werden vielmehr durch die Entwicklung der Kulturhefe in der Vermehrung gehemmt, auch fehlt es ihnen in der Tiefe der Maische an Luft, die sie zur lebhaften Entwicklung unbedingt benötigen.

Auch in der Bierbrauerei sind nicht alle Kahmhefen wirkliche Schädlinge, manche Arten können sich sogar in kräftiger Entwicklung im Lagerbiere befinden, ohne nachteilig zu wirken. Wird aber das Bier unrichtig behandelt, findet besonders Luft in das Innere des Transportfasses oder der Flaschen Zutritt, so vermögen sie sich kräftig zu entwickeln und das Bier wird dann sowohl durch die Geschmacksveränderung, wie vorher schon durch die starke Hautbildung verdorben.

Wie erwähnt, ist die Gattung Mycoderma sehr artenreich. Hierher gehören auch die von Hansen beschriebenen Arten Mycoderma cerevisiae und vini, die, wie schon ihr Name besagt, auf Bier und Wein beobachtet wurden.

Saccharomyces exiguus.

Unter diesem Namen wurden früher Hefepilze beschrieben, die besonders in der Brauerei empfindliche Störungen hervorrufen sollten. In jenen Zeiten — sagt Thausing — wo man noch keine Methoden zur Durchführung entscheidender Versuche zur Unterscheidung der Hefearten kannte und wo jede Analyse nur mit Hilfe des Mikroskops allein vorgenommen werden konnte, bemerkte man oft bei Untersuchung trüber

Biere, daß sie mit kleinen Hefezellen erfüllt waren. Für diese Erscheinung waren viele Erklärungen möglich, und alle haben ihren Fürsprecher gefunden. Die Krankheit, das Abnormale, könne an der Flüssigkeit selbst liegen, glaubten einige, und die Folge davon sei, daß eine so starke Entwicklung von kleinen Hefezellen auftrete; oder es sei eine fremde Hefe, welche die Ursache der Krankheit wäre und abnormale Veränderungen in der Beschaffenheit der Flüssigkeit hervorrufe. Allein keine dieser Behauptungen brachte Aufklärung und folglich auch keine Hilfe gegen das Übel, die Krankheit dauerte ungestört fort, und wenn sie endlich über kurz oder lang aufhörte, war dies nicht weniger rätselhaft, als ihr Auftreten. Der ganzen Verwirrung wurde erst durch Hansen ein Ende gemacht, als Hansen durch Experimente der Sache nachging. Der Fortschritt und die Erkenntnis war in erster Linie durch die exakte Forschung bedingt, nicht durch Versuche in der Praxis. Die Brauereihefe wurde in ihre Bestandteile aufgelöst, die verschiedenen Arten in reinen Kulturen gezüchtet, und die Versuche zeigten, daß die Hefe ein Gemisch von guten, nützlichen Arten und von Krankheitshefen darstellte.

Durch diese Versuche wurde einerseits dargelegt, daß viele Hefearten solch kleine Zellen, wie Saccharomyces exiguus, entwickeln können, anderseits, daß es auch Hefearten gibt, welche immer mit kleinen Zellen auftreten und die eine oder mehrere Sporen bilden können; diese Arten könnten also natürlich mit dem Namen Saccharomyces exiguus belegt werden. Diese kleinen Hefearten, welche übrigens weniger häufig in den Brauereien als anderswo vorkommen, können in der Regel die Maltose nicht vergären und sie erregen daher nur eine schwache Gärung in der Würze. Schon diese Tatsache ließ vermuten, daß sich solche Arten in Konkurrenz mit Brauereihefe nicht geltend zu machen vermögen und direkte Versuche von Hansen haben bewiesen, daß es sich wirklich so verhält. Selbst beim Vermischen bedeutender Mengen „Exiguushefe“ mit der Stellhefe zu Anfang und am Schlusse der Hauptgärung gelang es nicht, irgend eine Krankheit im Biere zu erregen.

Der Exiguushefe oder „kleinen Hefe“ kommt mithin keine

wesentliche Bedeutung im praktischen Brauereibetriebe zu. Überhaupt muß man wohl die Bezeichnung: „Exiguushefe" mehr als Artbegriff wie als Rassenbezeichnung auffassen.

Saccharomyces apiculatus.

Auch zu dieser Gruppe, die sehr weit verbreitet ist, gehören zahlreiche Arten, denen allen die sehr geringe Größe und die zitronenförmige Gestalt der Zellen gemeinsam ist. Saccharomyces apiculatus tritt im Anfangsstadium der Weingärung in sehr großen Mengen auf, wird aber dann von der eigentlichen Weinhefe (Saccharomyces ellipsoideus) verdrängt, außerdem in manchen selbstgärigen belgischen Bieren, wie Lambic, Faro, Mars rc., denen er den eigentümlichen Geschmack und Geruch erteilt. In der Natur ist Saccharomyces apiculatus auf allen reifen, süßen Früchten anzutreffen.

Saccharomyces apiculatus ist untergärig und vermag in Würze schwache Alkoholgärung hervorzurufen. Doch vermag er die Maltose nicht zu vergären, wodurch diese Erscheinung erklärt wird, außerdem scheidet er keine Invertase aus. In Dextroselösungen in Hefewasser ruft er dagegen kräftige Gärungserscheinungen hervor, Dextrose, Lävulose und Mannose werden vergoren, dagegen aber außer Maltose auch nicht Laktose und Galaktose.

Gegen desinfizierend wirkende Stoffe ist die Apiculatushefe sehr empfindlich, schwefelige Säure hemmt schon in der Menge von 0·25 Prozent fast vollständig die Gärbarkeit, auch Alkohol wirkt hemmend. Wird der Pilz mit Brauereihefe in Bierwürze kultiviert, so wird er allerdings von der Hefe zurückgedrängt, doch vermag er auch bis zu einem gewissen Grade die Entwicklung der Kulturhefe zu hemmen.

Während somit Saccharomyces apiculatus kaum als gefährlicher Schädling der Bierbrauerei aufzufassen ist, muß man ihn aber nach Untersuchungen von Wortmann und Müller-Thurgau als schädlich für den Wein ansehen. Er beeinträchtigt sowohl die Güte des Weines, beziehungsweise Mostes und hemmt die Gärung, wie er auch Anlaß zur Entstehung von Weinkrankheiten gibt. Auch der im Weine auf-

tretende „Böchsergeschmack“ wird nach Schander durch gewisse Arten von Saccharomyces apiculatus hervorgerufen.

Willia anomala.

Willia anomala oder Saccharomyces anomalus Hansen gehört zur Gruppe der Anomalushefen, die sich vor allem durch die sehr rasch auftretenden Hautbildungen auf Flüssigkeiten auszeichnen. Ein weiteres sehr charakteristisches Merkmal ist die Bildung von Fruchtäther. W. Seifert hat nachgewiesen, daß es sich hierbei um die Bildung von Essigsäureäthylester handelt.

Willia oxydiert Alkohol zu Wasser und Kohlensäure, schließlich wird auch der Essigester verbrannt. Er vergärt Dextrose, aber nicht Maltose und Laktose und scheidet kaum Invertase aus. Die Form der Zellen ist sehr verschieden, so kommen neben sehr kleinen, rundlich eiförmigen, auch langgestreckte Zellen vor. Die Gestalt der Sporen dieses Pilzes ist ungemein charakteristisch, sie gleichen einer Halbkugel und tragen eine von der Grundfläche vorspringende Leiste.

Wohl das bemerkenswerteste an dieser Gattung ist ihre Fähigkeit, Fruchtäther bei der Gärung zu bilden. Es gibt eine ganze Reihe solcher „Fruchtätherhefen“, die alle zu den Anomalushefen gehören. Nach W. Henneberg sind sie sehr verbreitet und kommen auf Preßhefe, Früchten und Malz, sehr häufig aber auch in der Luft vor. Als Schädling ist diese Form der „wilden Hefen“ dagegen nicht aufzufassen.

Torulahefen.

Die Torulahefen wurden zuerst von Hansen näher untersucht. Von den Saccharomycesarten unterscheiden sie sich vor allem dadurch, daß ihnen die Fähigkeit der Sporenbildung fehlt. Torulahefen bilden sowohl kugelige, wie mehr oder weniger langgestreckte Formen und sind sehr verbreitet.

Wie Jörgensen nachgewiesen hat, können gewisse Torulaarten auch als Krankheitshefen auftreten, indem sie sich in den schwach vergorenen obergärigen Bieren, wenn diese auf Flaschen abgezogen werden, sehr stark vermehren und eine

Trübung verursachen, die sich jedoch von jener unterscheidet, die wilde Saccharomycesarten im untergärigen Biere hervorrufen. Auch in Zuckerfabriken, beziehungsweise im fertigen Produkte konnte Jörgensen Torulaarten nachweisen. Viele scheiden ein invertierendes Enzym aus und es ist nicht unwahrscheinlich, daß Torulaarten die Ursache des in Zuckerfabriken oft beobachteten Auftretens von Invertzucker sind.

Der Form der Zellen nach sind die Torulahefen meist ziemlich kleine oder sehr kleine, kugelförmige Gebilde, deren Protoplasma nur ein geringes Lichtbrechungsvermögen besitzt und meist einen großen Öltropfen enthält. Häufig bilden Torulaarten auf Flüssigkeiten feuchtglänzende Häute. Auf die Bedeutung der Torulahefen als Krankheitserreger im Biere wurde schon verwiesen. Doch sei bemerkt, daß wir auch eine Art kennen, die in der Fabrikation des englischen Porterbieres eine Rolle spielt. Dies ist die Art Brettanomyces, welche die eigentümliche Nachgärung dieser Biersorte veranlaßt.

Pombehefe, Schizosaccharomyces Pombe Lindner.

Die Pombehefe gehört zu den Schizosaccharomyceten, die sich nicht, wie die Saccharomyceten, durch Sprossung, sondern durch Spaltung vermehren. Ungefähr in der Mitte der Zelle entsteht eine Querwand, diese wird gespalten und die Zelle teilt sich dadurch in zwei neue Zellen, die oft wie mit einem Scharniere zusammenhängen. Wir haben hier somit eine der Vermehrungsweise der Spaltpilze (Bakterien) ganz ähnliche Vermehrungsart vor uns.

Wir kennen mehrere Arten der Schizosaccharomyceten, doch besitzt unter ihnen die Pombehefe die größte Bedeutung, und zwar dadurch, daß sie einerseits beträchtliche Alkoholmengen zu bilden und anderseits auch Dextrin zu vergären vermag. Dadurch wird die Pombehefe möglicherweise Bedeutung für die Praxis erlangen, allerdings waren die nach dieser Richtung unternommenen Versuche bisher ohne Erfolg. Doch soll sie sich in einer argentinischen Brennerei gut bewährt haben.

Die Pombehefe wurde von Saare in dem von afrikani-

schen Negern bereiteten Hirsebreie (Pombe) gefunden. Das Wachstum erfolgt am schnellsten bei Temperaturen, die zwischen 30 und 36° liegen, diese Hefe vermag in Maischen bis zu 15·5 Volumprozent Alkohol zu erzeugen, der Alkohol äußert keinen ungünstigen Einfluß auf das Wachstum, auch verträgt die Hefe höhere Temperaturen sehr gut, was sie besonders für wärmere Klimate geeignet macht.

Mit dieser Art wollen wir die Besprechung der wichtigsten Kultur- und wilden Hefen schließen. Wie wir gesehen haben, umfassen sie eine große Anzahl von Arten, die teils günstig, teils ungünstig in den Gärungsgewerben sich bemerkbar machen, teils aber auch indifferent sind. Die bis heute bekannte Anzahl dieser Hefen ist ungemein groß, es war daher auch nur möglich und besaß praktische Bedeutung, die wichtigsten Formen herauszuheben und zu erörtern. Einzelne, hier nicht erwähnte Arten werden wir noch in den folgenden Abschnitten dieses Buches, besonders bei der Erörterung der Rolle der Gärungsorganismen in den Gärungsgewerben zu besprechen haben.

3. Die Spaltpilze.

Die Spaltpilze oder Bakterien (Bazillen, Schizomyceten) bilden die dritte Gruppe jener zu den Pilzen gehörenden Mikroorganismen, die technische Wichtigkeit besitzen und in den Gärungsgewerben teils als willkommene Helfer, teils als Schädlinge auftreten. Eine Anzahl wichtiger Gärungsgewerbe beruht ausschließlich auf der Anwendung zu dieser Gruppe gehörender Mikroorganismen, so die Essigfabrikation, Milchsäurebereitung, die Bereitung gesäuerter Gurken, die Darstellung des Sauerkrautes usf., ferner treten uns manche Arten als Helfer in Gärungsgewerben entgegen, so spielt der Milchsäurebazillus eine wichtige Rolle in der Spiritusbrennerei.

Die ersten Beobachtungen über die Schizomyceten verdanken wir Leuwenhoeck, doch datiert die Erforschung ihrer Eigenschaften und ihres Lebens erst aus einer viel späteren Zeit. Ursprünglich glaubte man ihre Entstehung ausschließlich

auf die Urzeugung zurückführen zu müssen, heute können wir ihre Lebensweise, ihre Vermehrungsart, ihre physiologischen Wirkungen sehr genau, ja das Studium dieser Lebewesen hat ergeben, daß wir es hier mit Mikroorganismen zu tun haben, die eine äußerst wichtige Rolle im Haushalte der Natur erfüllen. Dies gilt besonders von den Verwesungs- und Fäulnisbakterien, deren Aufgabe es ist, organische Stoffe in ihre einfachen Bestandteile aufzulösen und wieder in den großen Kreislauf des Stoffes einzuführen. Eine große Anzahl der Bakterien ist daher auch landwirtschaftlich wichtig, indem sie die Umformung der in den Boden gelangenden organischen Stoffe nach der Richtung besorgen, daß sie wieder von höheren Pflanzen assimiliert werden können. Sie wandeln den Kohlenstoff der organischen Verbindungen in Kohlensäure um, besonders wichtig ist aber ihre Tätigkeit für die Ernährung der grünen Gewächse mit Stickstoff.

Obwohl fast vier Fünftel der Atmosphäre aus Stickstoff besteht, können die höheren Pflanzen, die Stickstoff ebenfalls zum Aufbau ihrer Organe benötigen, den elementaren Stickstoff nicht verarbeiten. Sie sind vielmehr auf die Aufnahme von Stickstoff in Verbindung mit Sauerstoff, also in Form von Salpetersäure, beziehungsweise salpetersauren Salzen angewiesen. Manche Bakterienarten vermögen jedoch elementaren Stickstoff zu verarbeiten und dadurch den Boden mit Stickstoffverbindungen anzureichern. Andere wieder besitzen die Fähigkeit, Stickstoff, der als Ammoniak, also in Verbindung mit Wasserstoff vorliegt, zu nitrifizieren, d. h. in Salpetersäure überzuführen und dadurch für die höheren Pflanzen aufnehmbar zu machen. Allerdings kennen wir auch denitrifizierende Bakterien, die umgekehrt Salpeterstickstoff zu niedereren Oxydationsstufen, möglicherweise auch wieder zu elementarem Stickstoff reduzieren.

Bakterien spielen ferner eine große Rolle durch die Tätigkeit, die sie im Stalldünger ausüben. In den Exkrementen der Tiere, die wir im Stalldünger wiederfinden, sind alle für die Ernährung der grünen Pflanzen tauglichen Stoffe zunächst in Form organischer Verbindungen enthalten, die von den Pflanzen nicht aufgenommen werden können. Bakterien

sind es wieder, welche hier die Umformung besorgen. Die rationelle Pflege und Behandlung des Stalldüngers läuft im wesentlichen darauf hinaus, die Entwicklung der im günstigen Sinne arbeitenden Bakterien zu fördern, die nachteilig arbeitenden — denn auch solche sind vorhanden — dagegen nach Möglichkeit zu unterdrücken.

Zu den Bakterien gehören aber auch Arten, welche die ärgsten Feinde des Menschen sind. Soweit unser Wissen reicht, werden alle seuchenartigen, ansteckenden Krankheiten durch Schizomyceten hervorgerufen und die Erreger der verheerenden Krankheiten, wie Pest und Cholera, Typhus, Tuberkulose, Diphtheritis, Scharlach usf. sind zumeist auch schon genau bekannt und studiert. Dieses Studium hat in manchen Fällen wirksame Mittel zur Bekämpfung dieser Lebewesen nachgewiesen, vor allem die Serumtherapie ist darauf zurückzuführen. Sie beruht im allgemeinen auf der Erkenntnis, daß die Stoffwechselprodukte der niederen Lebewesen ihnen selbst schädlich sind, wenn sie in größerer Menge sich ansammeln. Im Organismus des Menschen und der Tiere rufen diese Stoffwechselprodukte, die Toxine, die wir als die eigentlichen Krankheitserreger ansehen müssen, die Bildung von Gegengiften, von Antitoxinen hervor. Führt man nun in die Blutbahn eines Tieres, z. B. eines Pferdes, entsprechend vorbereitete Kulturen von krankheitserregenden (pathogenen) Mikroorganismen ein, und steigert man nach und nach die Dosis, so wird der Organismus unempfindlich, er wird immunisiert. Gleichzeitig bilden sich aber auch die Antitoxine, die in Form von „Serum" aus dem Blute gewonnen werden. Dies ist das Prinzip der Serumgewinnung, z. B. des Diphtherieserums. Doch können unter Umständen die Schutzstoffe auch direkt im menschlichen Organismus erzeugt werden, darauf beruht beispielsweise die Schutzimpfung gegen Blattern.

Je nach ihren physiologischen Eigenschaften hat man die Bakterien in krankheitserregende oder pathogene, in gärungserregende oder zymogene und in farbenbildende oder chromogene eingeteilt. Hierunter interessieren uns nur die zymogenen Bakterien und mit diesen werden wir uns ausschließlich zu befassen haben.

1. Bau und Vermehrung der Spaltpilze.

Die Spaltpilze sind einzellige Lebewesen, deren Zellen häufig zu größeren Verbänden vereint sind und die mannigfachste Gestalt zeigen. Viele Spaltpilze besitzen die Fähigkeit, sich selbständig fortzubewegen, und dies veranlaßte früher die Forscher, sie dem Tierreiche zuzuzählen und unter die Infusorien einzureihen. Später wurde dann ihre Pflanzennatur erkannt und Nägeli reihte sie der Gruppe der Pilze als selbständige Gruppe der Spaltpilze oder Schizomyceten ein.

Jede Bakterienzelle besteht, ebenso wie die Zellen der Hefe, aus einer Protoplasmamasse, die von der Zellhaut (Membran) umgeben ist. Jede Zelle enthält, wie wohl heute fast mit Sicherheit angenommen werden kann, einen Zellkern, außerdem treten im Innern des Protoplasmas Körnchen und Vakuolen auf. Auch Fetttröpfchen und Farbstoffe sind mitunter vorhanden. Die Farbstoffe treten entweder im Innern der Zelle auf oder sie werden ausgeschieden und lagern sich dann zwischen den Zellen ab, wodurch die Kulturen oft eine lebhafte Färbung erhalten.

Die Membran der Spaltpilze besteht nicht aus Zellulose, sondern aus Eiweißkörpern, die wahrscheinlich jenen sehr ähnlich sind, welche das Protoplasma bilden. Häufig quillt jedoch die Membran auf und bildet dann eine gallertähnliche Masse, dann sind die Vegetationen in Schleim gehüllt und bilden schleimige Häute oder Klumpen, die Zooglöen.

Werden Bakterien unter dem Mikroskope beobachtet, so zeigen viele eine charakteristische Bewegung, die jedoch nicht immer Eigenbewegung ist. Denn ungemein kleine Körperchen, zu denen natürlich auch die Spaltpilze gehören, schießen, unter dem Mikroskope beobachtet, oft mit großer Geschwindigkeit hin und her, oder zeigen drehende Bewegung, obwohl diese Erscheinung oftmals auch unbelebte, nur sehr fein verteilte Körper zeigen. Man bezeichnet diese Erscheinung als Brownsche Molekularbewegung. Viele Bakterien besitzen aber Eigenbewegung, die sie mit besonderen Organen, den Geißeln oder Cilien bewirken. Diese sind allerdings nicht sofort sichtbar,

sondern treten erst nach Präparierung und Färbung, wozu besondere Methoden dienen, deutlich hervor.

Die Geißeln sind entweder an den Polen der Zelle oder an den Seiten angeordnet, oder sie sind auf der ganzen Oberfläche verteilt. Indem diese Geißeln Bewegungen ausführen, verändert das Bakterium seinen Ort, die Bewegung beträgt etwa 1 Millimeter in $1^1/_2$ Minuten. Die Bewegungsrichtung ist insofern als willkürlich anzusehen, als viele Bakterien auf bestimmte Reize reagieren und dem Ausgangspunkte des Reizes entweder zustreben oder ihn fliehen. Oft kann auch die Bewegung durch äußere Einflüsse gehemmt werden, so ruft z. B. Sauerstoffmangel oder zunehmende Säure oftmals „Geißelstarre" hervor. Durch Aufhebung der Hemmungsursache, z. B. durch Neutralisation der Säure oder durch Zufuhr von Luft kann meist die Geißelstarre wieder aufgehoben werden. Die Geißeln sind auch dadurch wichtig, weil sie ein wesentliches Merkmal zur Einteilung und Gruppierung der Bakterien bilden.

Die Spaltpilze treten in den mannigfaltigsten Formen auf. Sie werden durch die folgende, von Jörgensen entworfene Abbildung (Fig. 17) veranschaulicht. Die einfachste Form, die wir antreffen, ist die Kugelgestalt, „Kokkus" genannt. Je nach ihrer Größe unterscheidet man Makro- und Mikrokokken (a). Treten die Kokken paarweise auf, so nennt man sie Diplokokken (b). Gruppen von je vier Individuen heißen Pediokokken, „Pakete", die je acht enthalten, Sarcinen; diese Gruppierungen kommen dadurch zustande, daß die Teilung sich nicht bloß nach einer, sondern nach zwei oder drei Richtungen vollzieht. Treten die Kokken unregelmäßig in größeren Haufen auf, so spricht man von Staphylokokken (d), sind sie zu Ketten vereint, von Streptokokken (c). Die Streptokokkenform entsteht dadurch, daß die Bakterien nach der Teilung noch zusammenhängen.

Viele Bakterien sind jedoch nicht kugelförmig, sondern sie besitzen die Gestalt eines Stäbchens. Sind die Stäbchen kurz, so spricht man von Bakterien, sind sie länger, von Bazillen (e in der nebenstehenden Abbildung). Diese Bezeichnungen werden oft auch für die ganze große Gruppe der

Spaltpilze angewendet. Die Klostridiumform (f) zeichnet sich dadurch aus, daß die Stäbchen in der Mitte verdickt sind und dann spindelförmig erscheinen. Fadenförmige Bazillen, Scheinfäden, zeigt g, sie entstehen durch Aneinanderlagerung von Bazillen, unecht verzweigte Fäden bilden sich durch Kreuzung und Aneinanderreihung mehrerer Fäden. Eine wirkliche Verzweigung, wie sie die Schimmelpilze aufweisen, kommt dagegen bei den Spaltpilzen nicht vor. Nicht selten sind die



Fig. 17. Wuchsformen der Bakterien. a Kokken; b Diplokokken und Sarcinaformen; c Streptokokken; d Zooglöenformen; e Bakterien und Bazillen; f Clostridiumformen; g Scheinfaden, Leptothrix, Cladothrix; h Virbio, Spirillum, Spirochäte und Spirulina; i Involutionsformen; k Bazillen und Spirilla mit Geißeln; l sporenbildende Bakterienformen; m Keimung einer Bakterienspore.

Bazillen und Fäden wellenförmig gebogen oder schraubenförmig gewunden (h). Sind die Schraubenwindungen nur wenig ausgeprägt, so entsteht die Vibrio- und die Spirochäteform, stärker gewundene Formen werden Spirillen genannt. Unregelmäßig gebuchtete und verdickte Formen (i) heißen hypertrophische oder Involutionsformen.

Die Geißelbildung veranschaulicht k, Bakterien, welche Sporen enthalten, l. Die Sporen können in der Mitte oder

am Ende der Zelle liegen. Aus der Spore entstehen wieder vegetative Zellen (m). Die schon erwähnte Zooglöenbildung veranschaulicht Fig. d der besprochenen Abbildung.

Die Vermehrung der Spaltpilze geschieht entweder durch Teilung oder durch Sporenbildung, doch ist die Sporenbildung nicht bei allen Schizomyceten nachgewiesen, während alle die Eigenschaft der Vermehrung durch Zellteilung besitzen. Die Teilung geht derart vonstatten, daß sich das Stäbchen streckt und dann eine Querwand bildet, die es in zwei Hälften teilt. Diese Querwand tritt niemals in der Längsrichtung der Zelle auf, sondern stets nur der Quere nach. Kugelförmige Bakterien vermögen sich, entsprechend ihrer Gestalt, nach zwei oder drei Richtungen zu teilen, dadurch kommen die schon erwähnten Anordnungen und Anhäufungen zustande.

Die Sporenbildung geht derart vonstatten, daß sich das Protoplasma zusammenzieht, wobei es dichter wird, endlich umgibt es sich mit einer Haut. Meist enthält jede Bakterienzelle nur eine einzige Spore, selten zwei. Auch die Spaltpilze bilden Sporen zumeist nur dann, wenn sie sich unter ungünstigen Lebensbedingungen befinden. Ebenso wie bei den anderen Arten der Pilze, die wir schon besprochen haben, zeichnen sich auch die Sporen der Spaltpilze durch besondere Widerstandsfähigkeit aus. Sie vertragen sowohl hohe wie besonders tiefe Temperaturen, manche Sporen vertragen sogar Siedehitze durch einige Stunden, ohne zugrunde zu gehen. Wir haben auch hier in der Sporenbildung ein Mittel zur Erhaltung der Art zu erblicken, doch ist bemerkenswert, daß die Sporen der Spaltpilze — trotz ihrer bedeutenden Widerstandsfähigkeit gegen andere Einflüsse — gegen Licht sehr empfindlich sind.

Viele Spaltpilze neigen sehr zu Variationen. Solche werden sowohl durch die Temperatur, wie durch bestimmte Ernährungsverhältnisse hervorgerufen. Einer Art dieser Variationen, der Involutionsformen, haben wir oben schon gedacht. Manche Bakterien nehmen dabei mitunter ein myzelähnliches, verzweigtes Aussehen an, dies gab den Anlaß, die Stammform der Bakterien unter den Hyphomyceten zu suchen.

Doch handelt es sich hier nur um besondere Bildungen, welche die erwähnte Vermutung nach keiner Richtung rechtfertigen. Dunbar hat zuletzt diese Anschauung neuerdings vertreten und glaubt sie auch experimentell bewiesen zu haben, doch ist eine Bestätigung bisher nicht erfolgt.

2. Die Lebensbedingungen der Spaltpilze.

Chemische Untersuchungen von Bakterienkulturen, die man durch sorgfältiges Auswaschen so gut als möglich von der Nährlösung befreit hatte, lehrten, daß sie ungefähr enthalten:

Wasser	85	Prozent
Eiweißkörper	8 bis 14	"
Fett und wachsartige Körper	1 " 4	"
Asche	1 " 2	"

In der Asche wurden Schwefel, Phosphor, Chlor, Kalzium, Kalium, Magnesium, Eisen und Silizium nachgewiesen. Doch hängt die Zusammensetzung unbedingt sehr von der Ernährung der Bakterien ab.

Zur Ernährung der Bakterien gehören somit außer den aufgezählten Mineralstoffen auch noch kohlenstoff- und stickstoffhaltige Verbindungen. Doch sind sie nicht befähigt, organische Stoffe aus unorganischen zu bilden, wie die höheren Pflanzen, sondern sie nehmen schon organische Verbindungen auf, die von höheren Pflanzen oder Tieren gebildet wurden. Ausnahmen haben wir schon oben erwähnt, hierher gehören z. B. jene Bakterienarten, die den Stickstoff der Luft zu verarbeiten vermögen, oder die Salpeterbakterien, welche Kohlensäure assimilieren.

Hinsichtlich der Beschaffenheit der von den Bakterien aufgenommenen organischen Nahrung begegnen wir auch der größten Mannigfaltigkeit. So können sie beispielsweise verschiedene kohlenstoffhaltige Verbindungen verarbeiten, die wichtigste Kohlenstoffquelle bilden aber unter allen Umständen die Kohlehydrate, unter diesen steht der Traubenzucker obenan. Auch zur Versorgung mit Stickstoff können sie die verschiedensten Stoffe heranziehen. Ganz abgesehen von der Aufnahme elementaren Stickstoffes durch manche Formen verarbeiten

manche Arten ebenso Nitrate wie Ammonverbindungen, ferner Peptone und Amide. Es entspricht ihrer weiten Verbreitung und ihrer Rolle in der Natur, daß sie im Hinblick auf die Nahrung wenig wählerisch sind und daß sie, beziehungsweise gewisse Arten die verschiedensten Stoffe zu verarbeiten vermögen.

Besonders wichtig und für die Lebensweise der Bakterien bedeutungsvoll ist der Umstand, daß es unter den Bakterien Arten gibt, welche keines freien Sauerstoffes bedürfen. Wir verdanken diese Entdeckung Pasteur, der nach dieser Eigenschaft die Spaltpilze in zwei große Gruppen schied: in die aeroben und die anaeroben. Die ersten bedürfen des Luftsauerstoffes, die zweiten vermögen ohne freien Sauerstoff zu leben. Unter den anaeroben befinden sich wieder solche, die gerade bei Luftabschluß besonders kräftige Gärungserscheinungen veranlassen.

Allerdings besteht zwischen den aeroben und den anaeroben Bakterien keine scharfe Grenze. Es finden vielmehr zahlreiche Übergänge statt, derart, daß wir von fakultativ und von obligat anaeroben Arten sprechen können. Die fakultativ anaeroben vermögen sich sowohl bei ungehindertem Zutritte der Luft, wie auch bei gänzlicher Abwesenheit von Sauerstoff gleich gut zu entwickeln. Endlich hängt der Grad des Sauerstoffbedürfnisses auch von den sonstigen Lebensbedingungen ab, besonders die Temperatur spielt eine große Rolle, indem manche Arten bei hoher Temperatur nur bei Luftzutritt, bei niederer dagegen nur bei Sauerstoffmangel zu wachsen vermögen. Bei manchen Bakterienarten ist übrigens die Sauerstoffaufnahme so heftig, daß nur ein Teil zur Atmung dient, der Rest wird zu Oxydationsvorgängen verwendet, die oft so lebhaft verlaufen, daß eine starke Erwärmung der Stoffe, in denen sie leben, stattfindet. Die Selbsthitzung des Hopfens ist beispielsweise auf diese Erscheinung zurückzuführen.

Die Anpassung der Bakterien an die verschiedensten Lebensbedingungen äußert sich auch deutlich in ihrem Verhalten gegen hohe und tiefe Temperaturen. Auch hier müssen wir zwischen dem Temperaturminimum und dem Maximum unterscheiden, welche die Lebensvorgänge überhaupt be-

grenzen, ferner läßt sich für jede Bakterienart ein Temperaturoptimum ermitteln, bei dem sich alle Lebenserscheinungen am besten abspielen. Doch sind diese Temperaturgrenzen, sowie das Optimum nicht für alle Lebenserscheinungen gleich. So ist z. B. meist das Optimum verschieden, je nachdem es sich um Vermehrung und Wachstum, um Gärungserscheinungen etc. handelt.

Besonders bemerkenswert für die Lebenserscheinungen der Spaltpilze ist es jedoch, daß sie — und ebenso ihre Sporen, wie schon erwähnt wurde — ganz außergewöhnlich tiefe und manche auch verhältnismäßig sehr hohe Temperaturen zu ertragen befähigt sind. Die Entdeckung der Verflüssigung der früher als „permanent" bezeichneten Gase ermöglicht es heute, ungemein tiefe Temperaturen zu erzielen, die weit unter 100° liegen und sich schon bedeutend dem „absoluten Nullpunkte (— 273°) nähern. Manche Bakterien haben selbst Temperaturen von — 252° ausgehalten, ohne getötet zu werden. Andere Arten wieder werden wegen der hohen Temperaturen, die sie zu ertragen vermögen, als wärmeliebende (thermophile) Bakterien bezeichnet. So vermehrt sich der Bacillus thermophilus noch lebhaft bei 70° und in Tierexkrementen wurden Arten gefunden, die noch bei 75° zu wachsen vermögen, während die Vermehrung bei 39° aufhört. Auch gegen sehr starken Druck sind die Bakterien unempfindlich. Man fand noch in einer Meerestiefe von 1100 Meter lebende Bakterien, die mithin einen Druck von mehr als 100 Atmosphären auszuhalten haben.

Gegen Licht sind dagegen die Bakterien fast ausnahmslos ungemein empfindlich. Besonders sind es die blauen und violetten Strahlen, die eine sehr energische Wirkung auszuüben vermögen. Allerdings ist es noch nicht mit voller Sicherheit erwiesen, ob die Wirkung des Lichtes auf der direkten Beeinflussung der Bakterien beruht oder vielleicht auf Veränderungen in der Beschaffenheit des Nährsubstrates. Immerhin ist die Tatsache bedeutungsvoll und vielleicht liegt in ihr auch die Erklärung der Erscheinung, daß diese kleinsten Lebewesen noch nicht — trotz ihrer Anspruchslosigkeit, Widerstandskraft und des enormen Vermehrungsvermögens — die alleinigen Herren

der Erde wurden und alle anderen Lebewesen unterdrückten und vernichteten.

Auch gegen Gifte verhalten sich die Bakterien verschieden, je nach der Konzentration, in der sie geboten werden. In sehr großen Verdünnungen wirken manche Gifte entweder nur entwicklungshemmend oder sogar als Reizstoffe, anderseits hängt die Giftwirkung auch sehr von der Temperatur ab. Manche Bakterien konnten sogar durch Züchtung an Gifte in stärkeren Konzentrationen gewöhnt werden, allerdings wurden sie wieder empfindlich, sobald sie in einen giftfreien Nährboden übertragen wurden. Besonders kräftig wirkende Bakteriengifte sind Sublimat (Quecksilberchlorid), Silbernitrat, Kaliumpermanganat, Karbolsäure, Salizylsäure, Tymol, Anilinfarbstoffe, ätherische Öle, Chlor und Brom, doch sind die zur Tötung nötigen Mengen sehr verschieden. Während beispielsweise Sublimat in 0·1prozentiger Lösung Bakterien in der Regel schon nach 2 bis 10 Minuten tötet, wirkt Karbolsäure ebenso rasch erst in 5prozentiger Lösung und Salizylsäure vermag, in 0·25prozentiger Lösung benutzt, erst nach 6 Stunden die Bakterien zu vernichten. Wie erwähnt, sind die Sporen der Spaltpilze gegen alle schädlichen Einflüsse, also auch gegen Bakteriengifte, viel widerstandsfähiger, als die vegetative Form.

Sehr wichtig ist ferner das Verhalten der Spaltpilze gegen Säuren und Alkalien. Gegen Säuren sind sie sehr empfindlich und vertragen im allgemeinen weit weniger Säure, als die Hefen. Auf diesem Verhalten beruht die von Pasteur angegebene Methode, Hefe frei von Bakterien zu erzielen, indem man sie in einer Rohrzuckerlösung, welche etwas Weinsäure enthält, züchtet. Durch alkalische Reaktion wird dagegen die Entwicklung der Spaltpilze begünstigt, eine Erscheinung, die mit ihrer Empfindlichkeit gegen Säuren im engsten Zusammenhange steht, weil bei Gegenwart von Alkalien auftretende Säuren gebunden werden.

Die allgemeine Verbreitung der Spaltpilze bringt es mit sich, daß sie sich auf allen zu ihrer Ernährung tauglichen Substanzen, sobald diese der Luft ausgesetzt werden, sofort entwickeln. Dies hat auch zur Folge, daß wir sie oder doch manche von ihnen als Schädlinge der Gärungsgewerbe be-

trachten müssen, weil sie unerwünschte Vorgänge hervorrufen können. Neben diesen nachteiligen Arten kennen wir anderseits wieder Formen, welche günstig zu wirken vermögen, und die zur Hervorrufung bestimmter Gärungsvorgänge (Essigfabrikation, Milchsäure usf.) benutzt werden. Unter diesen wurden wieder gewisse Formen rein gezüchtet und werden in Reinkulturen benutzt, wie z. B. ein Milchsäurebazillus in der Brennerei zur Säuerung des Hefengutes. Wir können mithin ebenso wie bei den Hefen drei Gattungen unterscheiden: Spaltpilze, welche harmlos sind, solche, welche als Schädlinge auftreten, und endlich Formen, die künstlich gezüchtet werden und daher — ebenso wie gewisse Hefeformen zu den „Kulturhefen“ gehören — als Kulturformen bezeichnet werden müssen.

Wie erwähnt, ist nicht nur die Verbreitung der Spaltpilze enorm, sondern wir kennen heute schon eine ungemein große Zahl von Bakterien. Hier wollen wir uns nur mit einigen jener wichtigsten Formen befassen, die nach der einen oder anderen Richtung, als wichtige Gärungsorganismen oder als Schädlinge für die Gärungsgewerbe Bedeutung besitzen.

3. Wichtige Arten der Spaltpilze.

Während die Hefen als Gärungsprodukte der Hauptsache nach nur Alkohol und Kohlensäure erzeugen, zeichnen sich die uns vom Standpunkte des Gärungstechnikers interessierenden Spaltpilze vor allem dadurch aus, daß sie Säuren produzieren. Die Natur dieser Säuren ist jedoch verschieden, so wird durch manche Spaltpilze sowohl Essigsäure und Milchsäure, wie auch Buttersäure 2c. erzeugt. Demnach lassen sich die technisch wichtigen Spaltpilzarten in Essigsäure-, Milchsäure-, Buttersäurebakterien 2c. einteilen. Wir kennen aber auch Bakterien, welche Alkohol zu bilden vermögen, Spaltpilze, die Zellulose vergären, solche, die Schleimbildungen hervorrufen oder verschiedene Enzyme abscheiden. Gewisse Bakterien lagern Eisenverbindungen in ihren Wänden ab (Eisenbakterien), andere speichern Schwefel auf (Schwefelbakterien). Auf die dieser Gruppe von Pilzen angehörenden nitrifizierenden und denitrifizierenden Mikroorganismen wurde schon verwiesen.

A. Milchsäurebakterien.

Die Milchsäurebakterien spalten Zucker in Milchsäure und können daher auf den verschiedenartigsten zuckerhaltigen Flüssigkeiten vegetieren. Bekannt ist ihre Tätigkeit in der Milch, wobei diese gerinnt, doch auch in Getreidemaischen, in Wein und Bier, in der Würze usf. können sie sich ansiedeln.

Es gibt eine große Anzahl von Spaltpilzen, die zu den Milchsäurebakterien gehören, doch besitzt nur eine geringe Anzahl für den Gärungstechniker Interesse. Wie erwähnt, können wir auch hier zwischen kultivierten Rassen des Milchsäurebakteriums und zwischen wilden, teils harmlosen, teils schädlichen Formen unterscheiden.

Die Milchsäurebakterien lieben teils höhere Temperaturen, teils entwickeln sie sich besser bei geringerer Wärme, so daß auch nach dieser Richtung Unterschiede bestehen. Aber auch ihr Verhalten gegenüber den Zuckerarten ist nicht gleich, manche Arten vergären Milchzucker, manche nicht; auch die Menge der entstehenden Milchsäure ist verschieden. Während die „echten Milchsäurebakterien" nur Milchsäure produzieren, spalten die zur Gruppe der Milchsäurebakterien, welche auch flüchtige Säuren erzeugen, gehörenden außerdem auch Essigsäure und Ameisensäure, sowie Alkohol und Kohlensäure ab. Die „Schleimmilchsäurebakterien" verwandeln Getreidemaische, Milch und Würze in fadenziehende, schleimige Massen, in Preßhefefabriken können bestimmte Arten das Zusammenkleben der Hefezellen bewirken.

Wir sehen somit, daß die Erscheinungen, welche Milchsäurebakterien hervorzurufen vermögen, sehr wechselnd sind, und weil sie auch verschiedene Ansprüche an die Zusammensetzung des Nährsubstrates stellen, treffen wir auch mancherlei Arten in den Gärungsgewerben an.

Bacillus Delbrücki.

Dieser Milchsäurepilz ist durch seine technische Verwendung wichtig. Er wird vor allem in der Brennerei in Reinkulturen zur Erzeugung von Milchsäure zur Säuerung des Hefengutes verwendet und vom Institut für Gärungs-

gewerbe zu Berlin kultiviert und abgegeben. Außerdem dient er aber auch in manchen obergärigen Brauereien, um dem Weißbier den charakteristischen säuerlichen Geschmack zu erteilen, endlich findet er in Milchsäurefabriken zur Umwandlung von Zucker in Milchsäure Anwendung; die Milchsäure wird in manchen Gewerben, besonders in der Kattundruckerei und der Gerberei benutzt. Charakteristisch besonders für Bacillus Delbrücki ist, daß er Milchzucker nicht zu spalten vermag, auf Milch vermag er sich daher nicht zu entwickeln, dagegen kommt er oft auf Getreide und Malz vor.

Der Kulturmilchsäurebazillus bildet (Fig. 18) nach W. Henneberg in Flüssigkeiten meist dünne, langgestreckte Zellen, die einzeln oder zu zwei und drei oder auch mehreren zu geraden oder geknickten Linien verbunden sind. Da die Abgrenzungen der Zellen meist nicht ohne weiteres zu sehen sind, entstehen häufig mehr oder weniger lange Zellfäden, die meist nur schwach gebogen sind. Im Alter können diese Zellfäden nach Aufteilung in einzelne kürzere Zellen zerfallen. Je nach der Art der Ernährung, dem Alter, der Kultur und der Temperatur, bei welcher das Wachstum stattgefunden hat, schwanken die Abmessungen der Zellen ziemlich bedeutend. In Maischen werden fast nur kürzere Zellfäden oder Zellketten gefunden, dagegen sind in Hefeextraktlösungen auffallend lange Fäden häufig. Im ersten Falle betragen die Abmessungen etwa 3 : 0·5 bis 1 μ, im zweiten (in 7- bis 10prozentigen Hefeextraktlösungen mit 10 Prozent Rohrzuckersatz gezüchtet) wurden Zellfäden beobachtet, die 64 bis 112 μ lang und 0·4 bis 1·2 μ breit waren.

Zur Züchtung der Kulturmilchsäurebazillen empfiehlt W. Henneberg unter den festen Nährböden Maische- oder Würzeagar mit einem Zusatze von Kreide (1 Prozent). Maische, ungehopfte Würze, Malzkeimabkochung, Hefewasser und Hefeextraktlösungen mit Zuckerzusätzen sind günstige Nährböden, dagegen bleibt stets in Bier und Milch, meistens auch in künstlich zusammengesetzten Nährlösungen jede Entwicklung aus. Nach neueren Angaben soll es übrigens gelungen sein, den Kulturmilchsäurebazillus auch an Milch, beziehungsweise Milchzucker zu gewöhnen. Besonders günstig erwiesen sich



Fig. 18. Bacillus Delbrücki (Kulturmilchsäurebacillus). Wachstum in 24 Stunden alter Tröpfchenkultur bei Verschiedenheit der Ausgangskultur, der Temperatur und der Einsaatmenge. Ausgangskultur von a Kartoffelmaische, b und c Getreidemaische, d, e und f Getreidemaische mit Kreide. a, b, c und d bei 40°, e und f bei 37°. a, b, d und e dichte Einsaat, c und f dünne Einsaat. Die Zellen variieren nach Länge, Breite und Gestalt; je kleiner die Einsaat und je niedriger die Temperatur ist, desto breiter und länger werden die Zellen. d zeigt schlangenförmig gewundene Zellen. Vergr. 1000. Nach W. Henneberg.

Hefeextraktlösungen (2·5 bis 10 Prozent mit oder ohne Zusatz von 1 Prozent Pepton und Zucker). Andere Nährlösungen sind:

3 Prozent Hefeextrakt,
20 " Dextrose, Maltose oder Rohrzucker

oder:

1 bis 15 Prozent Hefeextrakt,
Soda bis zur Neutralisation,
10 Prozent Rohrzucker.

Das Temperaturmaximum für das Wachstum auf Maische- oder Würzeagar liegt über 50°, das Optimum bei 40 bis 48° und das Minimum am ersten Tage bei 31°, am fünften Tage bei 24° und am vierzehnten Tage bei etwa 20°. Reinkulturen werden am besten in einem kühlen Zimmer aufbewahrt, nachdem sich die Kulturen durch einen oder zwei Tage bei der Optimaltemperatur (etwa 45°) entwickelt haben.

Für Bacillus Delbrücki in absoluter Reinkultur liegt das Temperaturmaximum für die Säuerung bei 54°, das Optimum zuerst bei 45 bis 47°, am zweiten Tage bei 41 bis 42° und vom vierten Tage an bei 36 bis 37°, während das Minimum am ersten Tage bei 28 bis 29°, am zweiten Tage bei 25 bis 26° und später unter 22° liegt.

Wichtig ist das Verhalten von Bacillus Delbrücki zu den Zuckerarten. Es werden stark gesäuert: Levulose, Dextrose, Maltose; weniger: Dextrin, Rohrzucker, Galaktose; nicht: Arabinose, Xylose, Rhamnose, Milchzucker, Raffinose, Stärke und einige andere Zuckerarten. Flüchtige Säure oder Alkohol wird nicht erzeugt. Bei Rohrzuckerzusatz, und zwar bei 20 Prozent Zucker, wurde in 10prozentigem Hefewasser als Maximum 0·8° Säure, entsprechend zirka 0·35 Prozent Milchsäure, festgestellt. Bei einem Gehalte von 30 bis 35 Prozent Rohrzucker hört sowohl die Entwicklung wie die Säurebildung ganz auf.

Soll der Pilz viel Säure erzeugen, so müssen ihm auch reichliche Stickstoffmengen zu Gebote stehen. In einer 10prozentigen Rohrzuckerlösung mit steigendem Hefeextrakt war bis zu 15 Prozent Hefeextrakt die Säuremenge ansteigend größer. Als Maximum wurden 0·8 Prozent Milchsäure beobachtet.

In Zuckerlösungen war ein Zusatz von Malzkeimen besonders günstig.

Der Zweck der Einleitung einer Milchsäuregärung in der Spiritusfabrikation besteht in der Erzeugung einer sauren Reaktion, welche anderen, die Alkoholgärung ungünstig beeinflussenden Bakterien nachteilig ist. Wird jedoch deren Entwicklung durch eine reichliche Milchsäuremenge unterdrückt, so vermag sich die Hefe ungehindert von fremden Organismen lebhaft zu entwickeln, während bei zu schwacher oder ganz fehlender Säuerung die Entwicklung und Leistungsfähigkeit der Hefe unterdrückt oder doch bedeutend geschwächt wird. Es ist übrigens nicht ausgeschlossen, daß die Milchsäure möglicherweise auch als Reizstoff anzusehen ist, der die Hefe zu lebhafterer Gärung anregt.

Würde man den Bacillus Delbrücki bei der seiner Entwicklung zusagendsten Temperatur, also etwa zwischen 41 und 47° im Brennereibetriebe verwenden, so würde keine reine Milchsäuregärung eintreten, weil bei dieser Temperatur auch noch andere, schädliche Bakterien in der Maische oder im Hefegute gedeihen. Delbrück hat jedoch gefunden, daß die Milchsäuregärung bei 50° zwar nicht am kräftigsten, aber binnen sehr kurzer Zeit verläuft, während bei dieser Temperatur andere, die Gärung störende Bakterien nicht mehr zur Entwicklung gelangen. Diese Milchsäuremenge wirkt dann als Schutzmittel und bedingt auch, daß andere Säuren während der Gärung der Hefemaische nicht gebildet werden.

Allerdings ist der Milchsäurebazillus — wie jeder andere Gärungserreger — auch gegen sein eigenes Gärungsprodukt empfindlich. Hat der Säuregehalt etwa 1·5 Prozent erreicht, so beginnt er nun auch seine Entwicklung zu hemmen, sofern nicht durch Neutralisation die freie Milchsäure gebunden wird, ein Vorgang, der bei der technischen Darstellung der Milchsäure Anwendung findet. Nach Versuchen von J. Hayduck begann die Verzögerung der Milchsäuregärung durch die freie Milchsäure bei einem Milchsäuregehalte der Nährflüssigkeit von 0·5 Prozent und stieg bei höheren Konzentrationen im folgenden Verhältnisse:

Milchsäuregehalt der Nährflüssigkeit in Prozent	Milchsäurezuwachs in 48 Stunden pro 1 Liter in Gramm
0·0	9·99
0·5	3·83
1·0	0·99
1·5	0·45

Auch andere Säuren hemmen die Entwicklung des Milchsäurebazillus. So wird sie durch Gegenwart der geringen Menge von 0·03 Prozent Schwefelsäure schon ziemlich stark beeinflußt, bei Anwesenheit von 0·04 Prozent Schwefelsäure entstehen kaum noch Spuren von Milchsäure.

Bacillus acidi lactici.

Während der eben besprochene Delbrücksche Milchsäurebazillus den Milchzucker nicht vergärt und daher zur Darstellung von Milchsäure aus Milch oder Molke nicht verwendet werden kann, ist der in der Milch vorkommende Organismus imstande, Milchzucker zu spalten. Die Bezeichnung „Bacillus acidi lactici" ist jedoch eine Art- und keine Speziesbezeichnung, weil eine größere Anzahl in der Milch vorkommender Milchsäurebakterien bekannt ist, die sich zwar voneinander wohl unterscheiden, in ihrem Verhalten jedoch sehr ähnlich sind. Leichmann hat jedoch gefunden, daß eine einzelne Art besonders zahlreich auftritt, die er als unbewegliche, kurze Stäbchen, die etwa anderthalbmal so lang als breit sind, beschrieb und die teils zu zweien, teils zu Ketten verbunden, vorkommen. Dieser Bacillus acidi lactici Leichmann spaltet Milchzucker auch bei gänzlichem Ausschluß der Luft; bei reichlichem Luftzutritte wird die Gärung gehemmt. Leichmann und Weigmann halten diese Art für den ständigen Erreger der spontanen Milchgerinnung, die eine Folge der Säurebildung ist. In der Milch ist nämlich das Kasein in Verbindung mit Kalk im kolloidalen (gequollenem) Zustande vorhanden. Durch die Milchsäure wird jedoch dem Käsestoffe der Kalk entzogen und in milchsauren Kalk übergeführt, wobei sich das Kasein ausscheidet. Nach den genannten Forschern geht die Entwicklung der Säuerung der Milch in

der Weise vonstatten, daß der schon 1884 von Hueppe gefundene und beschriebene Bacillus acidi lactici Hueppe und andere aerobe Arten sich in den oberen Schichten der Milch ansiedeln und hier die Säuerung bewirken, während der Bacillus acidi lactici Leichmann fakultativ anaerob ist und sich in den unteren Schichten entwickelt.

Bacillus Wehmeri (Henneberg).

Dieser Milchsäurepilz vermag nicht nur Milchsäure, sondern auch flüchtige Säuren, besonders Essigsäure, ferner auch Alkohol und Kohlensäure zu bilden. Dadurch kann er im Brennereibetriebe äußerst schädlich werden. Sein Temperaturmaximum liegt zwischen 40 und 46°, das Optimum etwa zwischen 39 und 40°. Die größte Milchsäuremenge, welche Bacillus Wehmeri zu erzeugen vermag, ist 1·3 Prozent.

Saccharobacillus Pastorianus.

Dieser Pilz ruft in schwach gehopften Bieren eine Krankheit, die als „Umschlagen" bezeichnet wird, hervor. Sie äußert sich darin, daß das Bier nach und nach den Glanz verliert und einen unangenehmen Geschmack und Geruch annimmt. Schüttelt man die Flüssigkeit, so heben sich vom Boden seidenglänzende Fäden empor. Dieser Bazillus erzeugt Milchsäure, Essigsäure und Alkohol. Durch die Säuren wird eine Ausfällung stickstoffhaltiger Verbindungen bewirkt, welche mit den Bazillen gemischt, die erwähnten seidenglänzenden Fäden und Wolken hervorrufen.

Eine sehr nahe verwandte Art ist Saccharobacillus Pastorianus var. berolinensis, die von W. Henneberg im Berliner Weißbier nachgewiesen wurde. Wahrscheinlich verleiht sie dieser Biersorte den eigentümlichen Charakter, doch treten im Weißbiere noch einige andere Milchsäurebakterien auf.

Weißbier und einige andere Biersorten zeichnen sich durch den verhältnismäßig hohen Gehalt an Milchsäure aus, doch ist Milchsäure, wenn auch nur in geringer Menge, in jedem Biere vorhanden. Allerdings darf sie niemals in zu großer Menge auftreten, weil sie sonst die Entwicklung der Hefe be-

nachteiligt und den Geschmack des Bieres ungünstig beeinflußt, und deshalb muß man auch in jeder Brauerei, in der die gewöhnlichen Biere erzeugt werden, darauf sehen, daß sich keine zu großen Mengen bilden.

Bacterium mannitopaeum.

Dieser und einige andere Milchsäurebakterien treten im Weine auf und veranlassen Erkrankungen desselben, die auf die Entstehung von Milchsäure zurückzuführen sind, besonders das „Zickendwerden" wird dadurch verursacht. Wie Müller-Thurgau nachwies, äußert sich die Krankheit in der Weise, daß der Wein trübe, erst hell, dann dunkel gefärbt wird und einen Bodensatz ablagert, gleichzeitig nimmt er einen unangenehmen Geruch und Geschmack an. Namentlich in schlechten Jahren, wenn der Most reich an Säure ist, scheinen diese Bakterien günstige Bedingungen für ihre Entwicklung zu finden.

Milchsäurebakterien können aber auch den Wein dadurch schädigen, daß sie die freie Säure verzehren und dafür Milchsäure bilden, dadurch wird der Wein säureärmer und milder, mitunter gewinnt er sogar. W. Seifert hat unter dem Namen Micrococcus malolacticus eine solche Bakterie beschrieben.

Die aufgezählten Arten von Milchsäurebakterien sollen nur einen Überblick über diese Gattung geben und die wichtigsten Formen, besonders aber die Schädlinge für Brennerei, Brauerei und Weinbereitung vermitteln. Wie wiederholt erwähnt, kennen wir eine sehr große Anzahl von Milchsäurepilzen, und wohl für jeden, mit Milchsäurebildung verbundenen Gärungsvorgang sind besondere Mikroorganismen bekannt. So gibt es zahlreiche Formen, die nur in der Milch auftreten, die bulgarische Sauermilch „Yoghurt" enthält eigene Formen, desgleichen sind besondere Formen bei der Säuerung der Gurken und des Krautes nachgewiesen worden. Auch der im Bäckergewerbe benutzte „Sauerteig" enthält Milchsäurebakterien.

B. Essigbakterien.

Fast ebenso artenreich wie die Gruppe der Milchsäurebakterien ist die jener Fermentorganismen, welche Essigsäure produzieren. Dieser Vorgang ist jedoch von den bisher erörterten Gärungserscheinungen sehr verschieden. Denn während wir beispielsweise die Alkohol- und Milchsäuregärung als eine Spaltung des Zuckers auffassen können, wandeln die Essigbakterien Alkohol in Essigsäure um, wobei Sauerstoff aufgenommen wird. Im folgenden Abschnitte, der vom Chemismus der Gärungen handeln wird, wird darüber näheres zu sagen sein.

Auch hier können wir eine Einteilung vom praktischen Standpunkte nach der Richtung vornehmen, daß wir nützliche und unbrauchbare oder schädliche Arten unterscheiden. Die nützlichen Arten zeichnen sich durch das Vermögen, ansehnliche Mengen Essigsäure zu bilden, aus, derart, daß sie für die Essigfabrikation in Betracht kommen. Je nach der Beschaffenheit des Ausgangsmateriales — ob Bier, Wein oder Alkohol — kommen aber wieder verschiedene Bakterienarten in Betracht, die zur Säuerung der genannten Ausgangsmaterialien besonders geeignet sind. Diese Arten der Essigsäurebakterien sind Kulturformen geworden, neben ihnen gibt es aber noch eine große Anzahl „wilder" Formen, die entweder nur ein sehr geringes Säuerungsvermögen besitzen oder dem Essig einen unangenehmen Geschmack und Geruch erteilen.

Anderseits kann auch das Auftreten von Essigbakterien in der Bierbrauerei und besonders in der Weinbereitung empfindliche Störungen und das Verderben der Getränke verursachen. In untergärigen Brauereien ist die Gefahr einer Schädigung durch Essigbakterien nicht besonders groß, weil sie alle einerseits hohe Temperatur, anderseits reichlichen Luftzutritt zur günstigen Entwicklung verlangen. Anders ist es dagegen in obergärigen Brauereien. Hier sind, der höheren Temperatur wegen, bei der die Gärung verläuft, die Bedingungen für die Entwicklung der Essigbakterien viel günstiger, weshalb sie hier auch schädlich werden können. Endlich können sie, wie Jörgensen gezeigt hat, auch in

Brennereien und besonders in Lufthefefabriken in großen Mengen auftreten.

Bacterium Schüzenbachi (Henneberg).

Diese Bakterienart wurde von Henneberg aus einem Schnellessigbildner gezüchtet und dem Erfinder der Schnellessigfabrikation Schüzenbach zu Ehren benannt. Die Zellen sind rund, eiförmig oder länglich (Fig. 19), öfters auch sichelförmig oder unregelmäßig gebogen und besitzen abgerundete

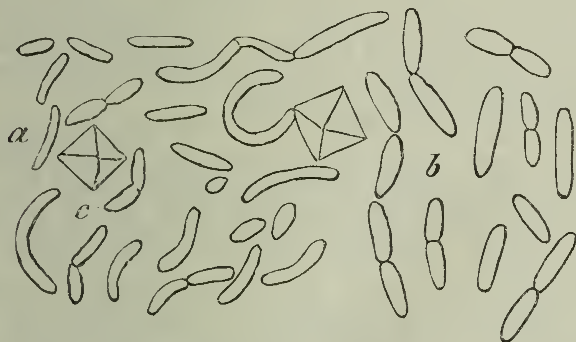


Fig. 19. Bacterium Schüzenbachi. a Zellen aus einer zwei Monate alten Würzegelatinekultur mit Kristallen von oxalsaurem Kalk (c); bei b die breiteren Zellen aus einer drei Tage alten Würzegelatinekultur. Vergr. 2000. Nach W. Henneberg.

oder zugespitzte Zellenden. Es finden sich einzelne oder zu zwei und mehreren in Ketten vereinigte Zellen vor. Die Zellglieder in einer Kette sind mitunter sehr verschieden geformt. Bemerkenswert ist, daß in diesen oftmals die am meisten gebogene Seite der gekrümmten Bakterienzellen genau abwechselnd nach der einen oder anderen Richtung gewendet ist. Das Temperaturoptimum für Essigmaischekulturen liegt bei 25 bis 27·5° und für Würzeagarkulturen bei 28 bis 30°. Nach Henneberg sind das Bacterium Schüzenbachi neben dem Bacterium curvum u. a. nahe verwandte Arten oder Rassen und mit diesen zusammen als jene Arten anzusehen,

die in der Schnellessigfabrikation die größte Rolle spielen. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, sehr bedeutende Säuremengen, 14 bis 15 Prozent, zu erzielen, was übrigens auch ohne Reinzucht, nach langsamer Steigerung der Alkohol- und Säuremengen unter normalen Verhältnissen möglich ist.

Bacterium xylinoides (Henneberg).

Bacterium xylinoides und das nahe verwandte Bacterium orleanense sind die wichtigsten Kulturweinessigbakterien, die also für die Darstellung von Essig aus Wein die größte Bedeutung besitzen. Das Charakteristische dieser Bakterien ist, außer dem Vermögen, große Mengen Essigsäure zu bilden, ihr Vermögen, Häute und außerdem auch angenehm riechende Stoffe (Ester) zu erzeugen.

Die Zellen von Bacterium xylinoides sind sehr verschieden geformt, sie können ganz rund, kurz- oder langstäbchenförmig, gerade, gebogen oder unregelmäßig geformt sein. Die Enden sind rundlich oder zugespitzt, meist sind sie zu zweien oder mehreren zu Ketten verbunden, treten jedoch auch einzeln auf.

Bemerkenswert sind ferner die Hautbildungen, welche dieses Bakterium auf Flüssigkeiten hervorruft. Die Haut kann entweder dünn, mäßig fest zusammenhängend und ziemlich trocken sein — Henneberg nennt diese Form „Seidenpapierhaut" — oder voluminösschaumig, fast zusammenhanglos und etwas schleimig — „Flockenhaut" — oder schließlich sehr zähe und dick — „Leder- oder Xylinumhaut". Zwischen diesen Hauptformen treten allerlei Übergänge auf, die sich auch oft nebeneinander vorfinden. Nach der sehr häufig auftretenden Lederhaut nannte Henneberg dieses Bakterium „Xylinoides". Die günstigste Wachstumstemperatur liegt für Würzeagarkulturen bei 28°, später bei 20 bis 23° und für verdünnte Essigmaischekulturen zuerst bei 30°, später auch bei 17 bis 28°. In unverdünnten Weinessigmaischen liegt die günstigste Entwicklungstemperatur näher bei 24 als bei 28° und das Temperaturmaximum unterhalb 32°. Bei 14° ist die Entwicklung ungemein verzögert, bei 6° findet überhaupt keine Entwicklung mehr statt.

Bacterium acetosum (Henneberg).

Bacterium acetosum wurde in einem obergärigen Biere, der Leipziger Gose, gefunden. Wird diese Bakterie auf Bier, Hefewasser oder Dextroselösungen ausgesät, so bildet sich eine feste, zusammenhängende, gleichmäßig glatte, weißliche Haut, die später Falten bildet und dadurch einer Kahmhaut sehr ähnlich wird. Doch hängt die Beschaffenheit dieser Haut von der Zusammensetzung der Nährlösung ab, auf 6prozentiger Dextroselösung entstehen nur einzelne Inseln, die beim Schütteln untersinken. Das Optimum für das Wachstum liegt bei etwa 28°, das Minimum unter 8°. Der Pilz vermag aus Arabinose, Dextrose, Galaktose, Äthyl- und Propylalkohol Essigsäure zu bilden. In Bier säuerte er bei 33° sehr wenig, bei 26 bis 29° sehr gut und bei 15° zwar langsam, doch immer noch befriedigend.

Als größte gebildete Essigmenge wurden von Henneberg 6·6 Prozent angegeben, die größte Alkoholmenge, bei deren Gegenwart noch Entwicklung stattfand, betrug 11 Volumprozent. Hervorzuheben ist ferner, daß dieser Pilz nicht nur Essigsäure, sondern auch Essigester bildet, wodurch der Essig einen sehr angenehmen, aromatischen Geruch erhält. Nach Henneberg dürfte Bacterium acetosum zur Fabrikation von Bieressig sehr gut geeignet sein.

Bacterium Pasteurianum.

Pasteur, welcher in seinem Werke „Études sur le vinaigre" im Jahre 1868 ausführliche Untersuchungen über die Essigbildung veröffentlichte, nannte, ebenso wie seine Vorgänger Persoon und Kützing, den Erreger der Essiggärung Mycoderma aceti und nahm an, daß man es hier nur mit einer einzigen Art zu tun habe. Später zeigte Hansen, daß unter den Formen von Mycoderma aceti mindestens zwei scharf unterscheidbare Spezies verborgen sind, welche jetzt die Namen Bacterium aceti und Bacterium Pasteurianum tragen. Später wurde dann von Beijerinck und Hoyer gezeigt, daß Bacterium Pasteurianum mehrere Varietäten bildet.

Auch mit dieser Aufzählung ist die Zahl der gegenwärtig bekannten Essigsäure bildenden Bakterienarten nicht erschöpft. Die eingehendsten Forschungen über die Essigbakterien verdanken wir Hansen, dem — wie oben erwähnt — auch der Nachweis gelang, daß Pasteurs Mycoderma aceti keine einheitliche Form ist. Hansen studierte auch die Bedeutung der Essigbakterien für die Brauerei und fand folgendes: Weil sich die Essigbakterien nur dann kräftig zu entwickeln vermögen, wenn ihnen bei entsprechend hoher Temperatur genügend Luft zur Verfügung steht, sind sie für untergärige Brauereien durchaus nicht so gefährlich, wie gewöhnlich angenommen wird. Eine Reihe von Versuchen, welche er durchführte, lehrte, daß sich Bacterium aceti und Pasteurianum zwar im fertigen, untergärigen Lagerbiere noch lebend vorfanden, einerlei, ob die Infektion zu Beginn oder am Ende der Hauptgärung stattfand, daß die Infektion jedoch keinen Einfluß auf die Beschaffenheit des Bieres ausübte. Die Entwicklung der Bakterien war erst dann möglich, wenn das Lagerbier in Flaschen abgefüllt wurde und dann höheren Temperaturen ausgesetzt war; doch wurde das Bier nicht essigsauer, wenn die Flaschen gut verkorkt wurden. Für untergäriges Bier bilden Essigbakterien mithin keine besondere Gefahr, sofern die Transportfässer und Flaschen gut gefüllt und verkorkt werden. Die geringe vorhandene Luft-, beziehungsweise Sauerstoffmenge ist dann bald verzehrt und etwa vorhandene Essigbakterien können sich nicht entwickeln.

Größer ist die Gefahr in obergärigen Brauereien, und zwar deshalb, weil hier die Gärung bei höherer Temperatur verläuft. Hier finden die Essigbakterien alle Bedingungen zu ihrer Entwicklung vor und sie können das Bier ungenießbar machen, indem sie einen Teil des Alkohols in Essigsäure verwandeln.

Da Milchsäure in der Menge von 1 Prozent die Entwicklung mancher Essigbakterien nicht oder nur wenig hemmt, so können sie natürlich auch in Brennereien auftreten. Nach Delbrück war das Vorhandensein von flüchtiger Säure und eine größere Säurezunahme in der Hauptmaische, wie von J. Henneberg untersuchte Proben ergaben, möglicherweise

auf die Anwesenheit von Essigbakterien zurückzuführen. In den allermeisten Fällen ließen sich aber bisher die ebenfalls Essigsäure, allerdings nur in geringer Menge, bildenden „wilden Milchsäurebazillen" als die Ursache der Säurezunahme und die Bildung der flüchtigen Säure feststellen. Da Essigsäure ein starkes Gift für die Kulturhefe bildet, so dürfte sich daraus die außerordentliche Schädlichkeit dieser Bazillenarten erklären; schon 0·75 Prozent Essigsäure vermag die Gärung der Hefe vollständig zu verhindern. Größte Sauberkeit und recht kräftige Hefe sind auch hier die besten Gegenmittel.

C. Buttersäurebakterien.

Der bekannte „ranzige" Geruch und Geschmack der Butter wird durch eine flüchtige Säure verursacht, welche Buttersäure genannt wurde. Sie wird von zahlreichen Mikroorganismen gebildet, die „Buttersäurebakterien" heißen. Auch in Milch kann Buttersäuregärung hervorgerufen werden, wenn man durch den Milchsäurebazillus gesäuerte Milch durch Zusatz von Kalk oder Kreide neutralisiert und dann sich selbst überläßt. Die Gärung verläuft bei 35 bis 40° am lebhaftesten.

Pasteur hat nachgewiesen, daß ihre Ursache ein Mikroorganismus ist, der ohne Luft zu leben vermag. Später wurde von anderen Forschern jedoch der Nachweis erbracht, daß zahlreiche Bakterien Buttersäure zu bilden vermögen und daß manche von ihnen aerob sind. Die echten Buttersäurebakterien erzeugen Buttersäure bei der Vergärung von milchsaurem Kalk oder von Kohlehydraten, andere Arten, die als unechte Buttersäurebakterien zu bezeichnen wären, produzieren gewissermaßen als Nebenprodukt Buttersäure bei der Zersetzung von Eiweißstoffen. Viele durch Bakterien veranlaßte Fäulnisvorgänge verlaufen ebenfalls unter Bildung von Buttersäure.

Die Buttersäurebakterien sind sehr verbreitet, es ist daher leicht, buttersaure Gärungen hervorzurufen. Man braucht nach Fitz nur eine Mischung von 2 Liter Wasser mit 100 Gramm Kartoffelstärke oder Dextrin, 1 Gramm Salmiak und den gewöhnlichen Nahrungssalzen mit 50 Gramm Kreide zu mischen und bei 40° zu erhalten, so wird sich alsbald Butter-

säuregärung einstellen. Ein anderes Verfahren hat Beijerinck angegeben. Man setzt zu einer 5prozentigen Traubenzuckerlösung 5 Prozent feingemahlenes Fibrin, infiziert nach kräftigem Kochen mit Gartenerde und stellt gleich darauf den Kolben in einen Brutschrank bei 35°. Nach Verlauf von 24 bis 48 Stunden ist die Gärung schon eingetreten; man neutralisiert ein oder mehrere Male mit Natronlauge. In der Flüssigkeit entwickelt sich dann eine Vegetation von Beijerincks Granulobacter saccharo-butyricum, weil andere Bakterien zum größten Teil durch das Kochen getötet oder durch die buttersaure Gärung in ihrer Entwicklung gehemmt werden. Benutzt man dagegen eine Nährlösung, welche enthält:

Rohrzuckerlösung . .	5	Prozent
Kalziumkarbonat . .	3	"
Natriumphosphat . .	0·05	"
Magnesiumphosphat .	0·05	"
Chlorkalium	0·05	"

o entwickelt sich ein anderer Pilz, das Klostridium. Die Produkte der buttersauren Gärung sind Buttersäure, Kohlensäure und Wasserstoff.

Angesichts der großen Zahl von Buttersäurebakterien, zu denen sich noch die Butylpilze gesellen, die keine Buttersäure, wohl aber Butylalkohol erzeugen, müssen wir uns auch hier darauf beschränken, nur einige wichtige Formen zu beschreiben und im Anschlusse daran die Rolle der Buttersäurepilze in den Gärungsgewerben zu erörtern.

Clostridium butyricum.

Clostridium butyricum oder Bacillus butyricus (Fig. 20) bildet kurze oder lange Fäden und Stäbchen, die gerade oder schwach gekrümmt sind. Sie besitzen lebhafte Eigenbewegung, die durch zahlreiche Geißeln vermittelt wird. Der Bildung von Sporen in den Stäbchen geht eine Anschwellung dieser voran, wobei sie eigentümliche spindelförmige, zitronenartige, ellipsoidische oder keulenförmige Formen bilden. Die Sporen sind ungemein widerstandsfähig, selbst durch Kochen während 5 Minuten werden sie nicht getötet. Clostridium butyricum

ist anaerob und gedeiht am besten bei Temperaturen von nahezu 40°.

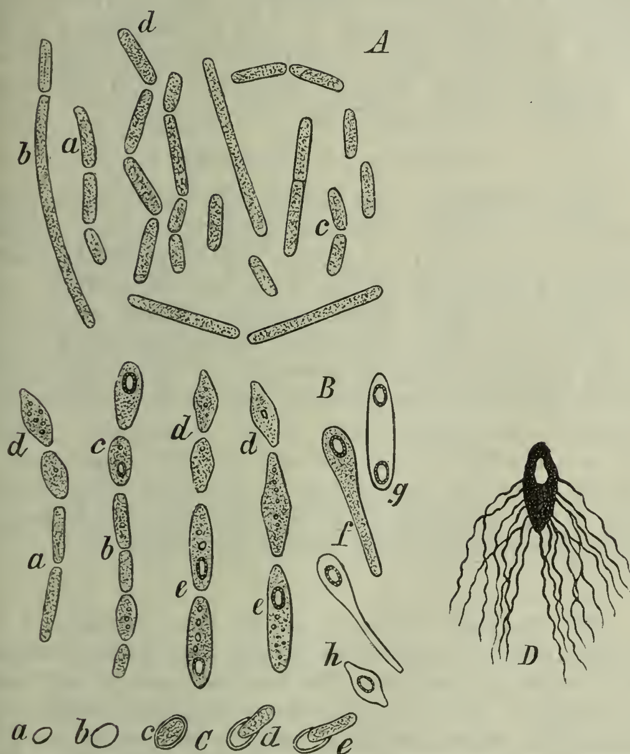


Fig. 20. Clostridium butyricum nach Prazmowski. A vegetativer Zustand; c Kurzstäbchen; d Langstäbchen; a und b vibrionenartig gekrümmte Stäbchen und Fäden; B Dauersporenbildung; C Keimung der Dauersporen; D Clostridium butyricum mit Endospore und durch Färbung sichtbar gemachten Geißeln. Nach A. Fischer.

Gruber fand unter dem Namen Clostridium butyricum drei wohl unterscheidbare Arten vereint, von denen zwei ausschließlich anaerob leben.

Clostridium Pasteurianum (Winogradsky).

Dieser Spaltpilz ist dadurch interessant, daß er den freien Stickstoff der Atmosphäre aufnehmen und verarbeiten kann, gebundenen Stickstoff vermag er nicht zur Ernährung zu verwenden. Er bildet neben Buttersäure auch Essigsäure und eine geringe Menge Alkohol, Kohlensäure und Wasserstoff, die Stäbchen sind kurz, dick und sehr beweglich.

Bacillus lupuliperda.

Dieser Bazillus — zu deutsch etwa „hopfenverderbender Bazillus" — entwickelt ebenfalls Buttersäure und tritt nach Behrens sehr häufig auf Hopfen auf. Die Selbsterwärmung des Hopfens ist eine Folge der Entwicklung dieses und mehrerer anderer Mikroorganismen. Dabei erwärmt sich der Hopfen sehr stark und nimmt einen widerlichen Geruch an, der ihn für Brauzwecke unverwendbar macht. Gegenmittel sind das Schwefeln des Hopfens, doch werden dadurch möglicherweise nur Schimmelpilze in der Entwicklung gehemmt. Um auch die Ansiedlung von anderen Mikroorganismen zu verhüten, muß der genügend trockene Hopfen, dessen Wassergehalt 8 bis 10 Prozent nicht überschreiten soll, festgelagert und an einem kühlen Orte aufbewahrt werden.

Die günstigste Temperatur für die Entwicklung der Buttersäurepilze liegt zwischen 35 und 37°, höhere Temperaturen wirken abschwächend. Bei 50° vermögen sie sich weder zu vermehren noch zu gären, doch sind, wie erwähnt, die Sporen sehr widerstandsfähig, weshalb sie auch höhere Temperaturen zu überdauern vermögen. Auf dem Malze sind stets Sporen von Buttersäurepilzen in großen Mengen anzutreffen, die während der Verzuckerung in der Brennerei nicht getötet werden, wohl aber gehen bei der Temperatur von 60 bis 61° die keine Sporen bildenden Milch- und Essigsäurepilze zugrunde. Ließe man nach dem Verzuckern das Hefegut nur langsam erkalten, so würde stets Buttersäuregärung eintreten, weil eben immer noch lebende und entwicklungsfähige Sporen vorhanden sind. Um dies zu verhüten, muß die der Butter-

säuregärung günstigste Temperatur von 30 bis 40° strenge vermieden werden, indem man die Temperatur auf 50° hält. Auch durch Einsaat einer kräftigen Kultur von Bacillus Delbrücki, beziehungsweise durch die sich dann bildende Milchsäure wird die Entwicklung der Buttersäurepilze gehemmt.

Eine starke Buttersäuregärung wurde nach Henneberg jedoch bisher nur in Getreidemaischen, fast niemals in Kartoffelmaische beobachtet. In Kartoffelbrennereien kann also in den allermeisten Fällen nur das aus Getreide bereitete Hefegut durch Buttersäurebazillen infiziert werden, und zwar nur dann, wenn die Säuerung durch Milchsäurebazillen nicht vorschriftsmäßig stattfand.

Auch in Bierwürze vermögen sich Buttersäurepilze zu entwickeln, besonders dann, wenn sie bei mittlerer Temperatur ohne Hefezusatz sich selbst überlassen bleibt. Es ist klar, daß der höchst widerliche, ranzige, schweißartige Geruch der Buttersäure selbst in geringen Mengen das Bier ungenießbar machen würde.

D. Schleimbildende Bakterien.

Bei den schleimabsondernden Bakterien handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach oft um jene Erscheinung, die wir als Zooglöenbildung (S. 117) kennen lernten. Organismen dieser Art können im Weine, in der Milch, im Rübensaft, in der Melasse und in der gärenden Würze auftreten, und dort Veränderungen hervorrufen, welche nachteilig sind. Auch im Brot wurden schleimbildende Bakterien gefunden, welche das „fadenziehende Brot" verursachen, wobei es sich in lange, klebrige Fäden und Stränge ausziehen läßt. Wahrscheinlich sind es Varietäten von Bacillus mesentericus vulgatus (Bacillus panis viscosi), welche diese Erscheinung bewirken.

Ein Bazillus, welcher die Milch schleimähnlich verändert, wurde von Adametz beschrieben. Dies ist der Bacillus lactis viscosus, welcher nach 4 bis 6 Wochen die Milch zähflüssig wie Honig macht

Auch in Bier wurden schleimbildende Organismen nachgewiesen, so fand van Laer in fadenziehenden belgischen Bieren als Ursache dieser Krankheit kleine, sehr dünne, sporen-

bildende Stäbchen, nur 1·6 bis 2·4 μ lang, die einzeln oder zu zweien durch eine Schleimmasse vereinigt waren. Die Entwicklung dieses Organismus (Bacillus viscosus) verläuft um so schneller, je mehr stickstoffhaltige Substanzen die Nährflüssigkeit enthält, durch Anwesenheit von Säure wird ihre Entwicklung gehemmt.

Leuconostoc mesenteroides (Froschlaichpilz).

Dieser interessante Pilz tritt oft in großen Mengen spontan in Rübensäften und Melassen der Zuckerfabriken, sowie in Melassebrennereien auf, er bildet große, schleimige, dem Froschlaich ähnliche Klumpen. Auch hier handelt es sich um Zooglöenbildung. Entwickelt sich der Froschlaichpilz in Rohrzucker- oder Traubenzuckerlösungen, so besteht die Gallerthülle oft aus einem gummiartigen Kohlehydrat, dem Dextran, man pflegt diese Erscheinung auch als „Dextrangärung“ zu bezeichnen. Allem Anscheine nach handelt es sich bei den durch den Froschlaichpilz hervorgerufenen Erscheinungen nicht um einen einzigen, sondern um mehrere Organismen, von denen auch eine Anzahl beschrieben wurde.

Auch die „Gummose“ der Zucker- und Runkelrüben, die schließlich zur Zerstörung der Rüben führt, wird durch schleimbildende Bakterien verursacht.

E. Sarcina.

Unter „Sarcina“ versteht man Anhäufungen kugelförmiger Bakterien (Kokkus), die sich nach zwei oder drei Richtungen teilen und dadurch — verbunden durch den von den Zellwandungen ausgeschiedenen Schleim — warenballenförmige Gebilde entstehen lassen (siehe b in Fig. 17 auf S. 119). Der Ausdruck „Sarcina“ ist demnach ein Sammelbegriff für verschiedene Arten von Kokken, welche diese Erscheinung zeigen. Für die Gärungsgewerbe sind die Sarcinen dadurch besonders bemerkenswert, daß sie gefürchtete Erkrankungen des Bieres hervorzurufen vermögen. Allerdings ist das Auftreten von Sarcinen nicht unter allen Umständen mit krankhaften Veränderungen des Bieres verbunden, und dies legt den Gedanken

nahe, daß es entweder unter den Sarcinen auch harmlose, unschädliche Arten gibt oder daß unter Umständen ihre nachteiligen Eigenschaften verloren gehen.

Die schädlichen Wirkungen der Sarcina äußern sich vor allem in Geschmacks- und Geruchsveränderungen des Bieres. Es erhält einen eigentümlichen, widerlichen, säuerlichen oder auch süßen Geschmack und Geruch, außerdem wird das Bier trübe. Nach Claußen haben wir vor allem zwei Arten von Sarcinen zu unterscheiden, welchen diese nachteiligen Veränderungen zuzuschreiben sind. Pediococcus damnosus wirkt auf den Geschmack und den Geruch des Bieres, Pediococcus perniciosus ruft die Trübung hervor.

Die Sarcinen vermögen sich schon bei niederen Temperaturen (5 bis 6°) zu entwickeln, namentlich in den späteren Stadien der Gärung treten sie auf und können sich dann massenhaft vermehren. Ihre Keime sind stets in der Luft enthalten, weshalb die Möglichkeit einer Infektion jederzeit vorhanden ist, doch wird sie durch besondere Bedingungen sehr begünstigt. Hierher sind schlecht verzuckerte Würze, eiweißreiches Malz, schwach gehopfte Würze, Hefen mit zu geringem Vergärungsvermögen 2c. zu zählen. Allerdings wird das Auftreten der Sarcina auch in ganz normalen Würzen beobachtet, während umgekehrt selbst fehlerhafte Würzen frei blieben. Größte Reinlichkeit bietet den sichersten Schutz gegen das Auftreten dieser Krankheit. Im Anfangsstadium ist es allerdings mitunter möglich, durch Filtration die Erscheinungen zu beseitigen, gelingt es aber nicht gleichzeitig, die Keime zurückzuhalten oder zu töten, so wird die Erkrankung neuerdings auftreten und um sich greifen. Zeigt sich die Sarcina, so muß ihrer Bekämpfung die vollste Aufmerksamkeit zugewendet werden und dann gelingt es auch, die Krankheit im Keime zu ersticken. Läßt man jedoch das Übel um sich greifen, so wird es später immer schwieriger, seiner Herr zu werden.

III. Abschnitt.

Chemie der Gärungen.

Wir haben bisher nur im allgemeinen von den Gärungsvorgängen gesprochen und hauptsächlich ihre rein physiologische Seite erörtert, also vor allem die Natur und die Lebensbedingungen der Mikroorganismen, welche wir als die Ursache der Gärungserscheinungen ansehen müssen. Es ergab sich, daß als Produkte jener Erscheinungen, die wir kurzweg als „Gärungen“ bezeichnen, die mannigfaltigsten Stoffe auftreten können, wie Alkohol und Kohlensäure, Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure, Zuckerarten, wie Mannit und Dextran, höhere Alkohole, wie Butylalkohol usf. Auf die Menge dieser Stoffe haben wir jedoch im besonderen bisher keine Rücksicht genommen.

Ferner haben wir gesehen, daß die verschiedensten Stoffe solcher Veränderungen, die wir als „Gärung“ bezeichnen, fähig sind. Wir brauchen bloß auf die Zuckerarten zu verweisen, deren wichtigste Repräsentanten wiederholt aufgezählt wurden, darauf, daß auch das Gärungsprodukt der Hefe, der Äthylalkohol, weiter zu Essigsäure „vergoren“ werden kann, daß aus Milchsäure, beziehungsweise milchsaurem Kalk durch einen Gärungsvorgang Buttersäure entsteht, daß gewisse Organismen auch Zellulose zu vergären vermögen usf.

Immer wurde nur die qualitative Seite berücksichtigt. Untersucht man aber, wie sich die der Gärung fähigen Körper verhalten, wenn man eine bestimmte Menge vollständig vergären läßt, und gleichzeitig die Menge der auftretenden Gärungsprodukte ermittelt, so gelangt man zu ganz bestimmten

und hochwichtigen Ergebnissen. Es zeigt sich nämlich, daß die Gärungsvorgänge stets nach bestimmten quantitativen Verhältnissen verlaufen, daß z. B. die Zerlegung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure durchaus nicht vom Zufalle abhängt, sondern daß Alkohol und Kohlensäure stets in einem bestimmten Verhältnisse zueinander und auch zu der verschwundenen, also vergorenen Zuckermenge stehen.

Allerdings hängt, wie wir schon wissen, der Verlauf eines Gärungsvorganges von den verschiedenartigsten Einflüssen und Verhältnissen ab. So spielt die Art oder Rasse des vergärenden Mikroorganismus eine große Rolle, ebenso der Umstand, ob er allein oder in Gemeinschaft mit anderen Gärungserregern tätig ist. Ferner hängt der Verlauf der Gärung von der Temperatur, von der Zusammensetzung und besonderen Beschaffenheit der vergärenden Flüssigkeit, von der Gegenwart oder der Abwesenheit von schädlichen oder die Gärung befördernden Substanzen ab, usf. — immer wird sich aber, sofern nur die Bedingungen gleich sind, stets auch ein bestimmter quantitativer Verlauf des Gärungsvorganges ergeben.

Die Veränderungen, welchen die gärenden Substanzen unterliegen, die Spaltungen, die sie erleiden, sind Vorgänge rein chemischer Natur. Wir können sie daher auch ausschließlich von chemischen Gesichtspunkten aus betrachten und dabei die Frage nach den stofflichen Veränderungen, welche bei den Gärungen entstehen, erörtern.

Entgegen den Anschauungen älterer Forscher wissen wir heute, daß lebende Organismen zur Hervorrufung von Gärungsvorgängen nicht unmittelbar nötig sind. Wie bei Besprechung der Enzyme und der enzymatischen Vorgänge gezeigt werden wird, können wir ganz normal verlaufende Gärungserscheinungen, z. B. die schon wiederholt erwähnte Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure, auch unter Ausschluß lebender Hefezellen hervorrufen, sofern wir nur ein aus lebenden Hefezellen darstellbares Enzym, die Zymase, zusetzen. Wir haben dann allerdings die unmittelbare Mitwirkung der lebenden Zelle ausgeschaltet, uns jedoch nicht von ihr unabhängig gemacht, sondern gewissermaßen den Gärungsvorgang nur in

zwei Phasen zerlegt, die wir aufeinander folgen lassen, während sie sich während der Gärung bei Gegenwart lebender Hefe gleichzeitig abspielen: die Bildung des Enzymes „Zymase" und die von diesem besorgte Spaltung des Zuckers.

Wir können aber manche Gärungserscheinungen ganz ohne Mitwirkung von Gärungsorganismen oder ihren Produkten durchführen. So konnte man unter der Einwirkung des Lichtes eine Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure nachweisen, ebenso können wir auch im Laboratorium unter Mitwirkung von fein verteiltem Platin Alkohol zu Essigsäure oxydieren — in beiden Fällen besitzen der Alkohol und die Essigsäure genau die gleichen Eigenschaften, wie wenn sie unter Mitwirkung der Zelle produziert werden.

Für die Praxis besitzt die Kenntnis des chemischen Verlaufes der Gärungsvorgänge die größte Bedeutung. Denn sie gibt Aufschluß über die zu gewärtigenden Ausbeuten, belehrt uns über die Natur der bei der Gärung auftretenden Nebenprodukte, macht uns mit den Eigenschaften der in den Gärungsgewerben zu verarbeitenden Rohstoffe bekannt und zeigt schließlich, wie manche derselben vorbehandelt werden müssen, um einer Veränderung durch Gärungsorganismen unterliegen zu können. Die Erörterung dieser Momente wird uns nun beschäftigen.

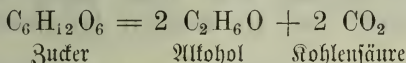
In früheren Zeiten wurde sehr häufig, ja fast allgemein der Ausdruck „Gärungschemie" gebraucht. Er stammt eigentlich noch aus jenen Tagen, wo man die Gärungserscheinungen ausschließlich als chemischen Vorgang betrachtete und die Gegenwart von Organismen als etwas mehr oder minder zufälliges ansah. Wenn wir uns auch heute der rein chemischen Auffassung durch die epochalen Arbeiten Buchners und E. Fischers wieder genähert haben oder richtiger einen bedeutungsvollen Schritt in der Erkenntnis des chemischen Verlaufes der Gärungsvorgänge machen konnten, so wäre es doch nicht zutreffend, ausschließlich von einer Gärungschemie zu sprechen, denn die rein physiologischen Vorgänge sind auf diesem Gebiete von ebenso großer Bedeutung und ohne ihre Erkenntnis wäre unser gegenwärtiges Wissen über die Gärungserscheinungen überhaupt undenkbar. Das Gebiet der Gärungs-

erscheinungen wird eben von zwei Wissensgebieten beherrscht: von der Physiologie der Gärungsorganismen und von den chemischen Vorgängen während der Gärung.

A. Die alkoholische Gärung.

Der Chemismus der alkoholischen Gärung verläuft derart, daß die gärungsfähigen Zuckerarten in Alkohol und Kohlensäure zerlegt werden, wobei sich der Alkohol in der vergärenden Flüssigkeit ansammelt, während die Kohlensäure entweicht. Gleichzeitig erwärmt sich die Flüssigkeit und wird durch die sich massenhaft vermehrende Hefe getrübt.

Die Zerlegung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure kann durch die folgende Gleichung veranschaulicht werden:



$$\underset{\text{Zucker}}{C_6H_{12}O_6} = 2\ \underset{\text{Alkohol}}{C_2H_6O} + 2\ \underset{\text{Kohlensäure}}{CO_2}$$

Aus dieser Formel kann auch die Menge der theoretisch auftretenden Gärungsprodukte berechnet werden. Wir erhalten:

180 Gramm Zucker geben 92 Gramm Alkohol und 88 Gramm Kohlensäure,

mithin werden aus 100 Gramm Zucker

51·11 Gramm Alkohol und 48·89 Gramm Kohlensäure

gebildet.

Diese Gärungsgleichung ist aber nicht richtig, weil die Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure nicht glatt nach dieser Formel erfolgt, sondern stets auch noch andere Gärungsprodukte, wenn auch in weit geringerer Menge, gebildet werden. So entstehen stets auch Glyzerin und Bernsteinsäure, ferner „Fuselöle", deren Hauptbestandteil der Amylalkohol ist, dann aber noch zahlreiche andere Stoffe, die wir bei Besprechung der Gärungsprodukte erörtern werden. Die Menge Zucker, die nicht in Alkohol und Kohlensäure zerlegt, sondern zur Bildung dieser Stoffe herangezogen wird, beträgt 5 bis 6 Prozent, natürlich wird ein Teil auch zum Aufbau der Hefe benutzt, die sich während der Gärung bildet.

Die Menge der Nebenprodukte, welche sich bei der Gärung außer Alkohol und Kohlensäure bilden, ist nicht immer gleich. So entsteht beispielsweise weniger Glyzerin, wenn die Gärung bei niederer Temperatur verläuft, umgekehrt wird mehr Glyzerin gebildet, wenn der Hefe reichlich Nährstoffe zur Verfügung stehen. Verfolgt man ferner die Menge der Nebenprodukte, die sich während des Verlaufes der Gärung bilden, z. B. des Glyzerins, so macht man die Wahrnehmung, daß auch die in gleichen Zeitabschnitten entstehenden Mengen nicht gleich sind. Je mehr sich die Gärung dem Ende nähert, desto weniger Glyzerin wird gebildet, um schließlich nahezu auf Null herabzusinken. Wir können demnach das Glyzerin nicht als direktes Gärungsprodukt bezeichnen, sondern eher als ein Stoffwechselprodukt der Hefe, das mit der Alkoholproduktion nicht im Zusammenhang steht, dessen Menge vielmehr von der Lebensenergie und der Eigenart der betreffenden Hefe abhängt.

Es ist daher nicht möglich, eine für alle Fälle zutreffende Gärungsgleichung aufzustellen, wozu noch kommt, daß wir stets zwischen der theoretisch möglichen Maximalmenge und der in der Praxis erhaltenen Ausbeute an Alkohol unterscheiden müssen. Auch gelangt man zu verschiedenen Zahlen, wenn man die bei der Gärung gebildeten Mengen Alkohol und Kohlensäure auf verschiedene Ausgangsmaterialien bezieht. So liefern, wie oben angeführt, 180 Gramm Zucker (Dextrose)

92 Gramm Alkohol und 88 Gramm Kohlensäure.

Berechnet man die aus Stärke entstehende Menge, so erfährt man, daß 162 Gramm Stärke ebenfalls

92 Gramm Alkohol und 88 Gramm Kohlensäure

liefern, weil die Stärke weder löslich noch gärungsfähig ist und vorher erst unter Wasseraufnahme in Zucker übergeführt werden muß. Drückt man — ohne Rücksicht auf die „Hydrolyse", wie der Vorgang der Verzuckerung der Stärke oder der Spaltung von (nicht gärungsfähigem) Rohrzucker in (gärungsfähige) Dextrose und Lävulose genannt wird — dies in Prozentzahlen aus, so gelangt man zu folgenden theoretischen Werten:

100 Teile Dextrose kristallisiert $C_6H_{12}O_6 + H_2O$ geben 46·46 Alkohol, 44·44 Kohlensäure,

100 Teile Dextrose wasserfrei $C_6H_{12}O_6$ geben 51·11 Alkohol, 48·89 Kohlensäure,

100 Teile Rohrzucker $C_{12}H_{22}O_{11}$ geben 53·80 Alkohol, 51·46 Kohlensäure,

100 Teile Maltose $C_{12}H_{22}O_{11}$ geben 53·80 Alkohol, 51·46 Kohlensäure,

100 Teile Stärke $C_6H_{10}O_5$ geben 56·78 Alkohol, 54·32 Kohlensäure.

Drückt man dies in Literprozenten Alkohol aus, so erhält man folgende Zahlen:

Je 1 Kilogramm der folgenden Substanzen erzeugt theoretisch Literprozente Alkohol:

Dextrose kristallisiert .	58·59	Literprozent
„ wasserfrei .	64·45	„
Rohrzucker	67·84	„
Maltose	67·84	„
Stärke	71·60	„

Unter der Annahme, daß ungefähr 6 Prozent Zucker verloren gehen und nicht in Alkohol und Kohlensäure zerlegt werden, berechnete Pasteur die folgenden Ausbeuten von je 1 Kilogramm Substanzen:

Dextrose kristallisiert .	55·55	Literprozent
„ wasserfrei .	61·10	„
Rohrzucker	64·33	„
Maltose	64·33	„
Stärke	67·90	„

Wir haben bei Besprechung der Gärungsorganismen schon wiederholt darauf verwiesen, daß sie sich hinsichtlich der Verarbeitung der ihnen zur Verfügung gestellten Nährstoffe durchaus nicht gleich verhalten. Wir wissen, daß manche Hefen immer nur bestimmte Zuckerarten vergären, wir wissen ferner, daß gewisse Zuckerarten, wie z. B. der Rohrzucker oder Saccharose, direkt überhaupt nicht vergärbar sind. Der Rohrzucker muß zuvor „invertiert“, d. h. unter Wasseraufnahme in Dex=

trose und Lävulose, in zwei neue Zuckerarten mit ganz anderen Eigenschaften gespalten werden, ein Vorgang, den ein von der Hefe produziertes Enzym, die „Invertase", besorgt, der aber auch auf andere Weise, beispielsweise durch Erwärmen mit verdünnten Säuren erreicht werden kann. Auch die Stärke, das eigentliche Rohmaterial der Spiritusfabrikation und der Bierbrauerei, ist weder in Wasser löslich, noch vergärbar, auch sie muß erst „verzuckert" werden, was ebenfalls von einem Enzyme, der „Diastase" besorgt wird.

Ehe wir daher die Gärungsprodukte eingehender erörtern können, müssen wir uns mit den chemischen Eigenschaften dieser Rohstoffe und den Umwandlungen, die sie vor oder während der Gärung erleiden, beschäftigen.

1. Die Rohstoffe der Gärungsgewerbe.

Die zur Erzeugung von Alkohol dienenden Rohstoffe gehören alle einer großen Gruppe von Körpern an, die nur aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen; sie sind durchwegs stickstofffrei. Sie enthalten ausnahmslos im Moleküle 6 Atome Kohlenstoff oder ein Vielfaches von 6 (12, 18), ferner stehen Wasserstoff und Sauerstoff in dem gleichen Verhältnisse, wie sie sich zu Wasser vereinen, auf 2 Atome Wasserstoff ist 1 Atom Sauerstoff vorhanden. Daher stammt die Bezeichnung „Kohlehydrate", welche diese ganze Gruppe umfaßt.

Man pflegt die Kohlehydrate in folgende Gruppen einzuteilen:

Monosaccharide (Glykosen),
Disaccharide (Saccharosen),
Trisaccharide,
Polysaccharide,
Gummiarten.

Zu jeder dieser Hauptgruppen gehören zahlreiche Unterabteilungen, in die wieder die einzelnen Verbindungen, von denen allerdings manche nur wissenschaftliches Interesse besitzen und uns daher hier nicht beschäftigen werden, einzuteilen sind.

Die Eigenschaften dieser Kohlehydrate sind höchst verschieden. Zu ihnen gehören ebenso die leicht in Wasser löslichen und süß schmeckenden Zuckerarten, wie die unlösliche und geschmacklose Stärke und die den Baustoff der Pflanzen bildende Zellulose. Wir sehen schon daraus, daß die Angehörigen dieser Gruppe große Mannigfaltigkeit aufweisen, dies trifft aber auch für einander nahestehende Körper zu, z. B. für die Zuckerarten. Auch diese zeigen untereinander neben großen Ähnlichkeiten zahlreiche Verschiedenheiten. Wir beginnen mit der Besprechung des technisch wichtigsten Rohstoffes, der Stärke.

Die Stärke.

Das Kohlehydrat Stärke wird in den grünen Zellen der höheren Pflanzen unter Einwirkung des Lichtes unmittelbar aus den Elementen, beziehungsweise aus Kohlensäure und Wasser gebildet. Hier bleibt jedoch die Stärke nicht liegen, sondern sie wird alsbald gelöst und als Lösung im Saftstrome von Zelle zu Zelle transportiert, um schließlich in den Reservestoffbehältern der Pflanze wieder in Stärke umgewandelt und aufgespeichert zu werden. Solche Reservestoffbehälter sind die Samen der Getreidearten, die fleischig gewordenen Wurzeln der Rübe, die Knollen der Kartoffel, das Mark der Stengel. Hier übernimmt die Stärke die Rolle eines Reservestoffes, d. h. sie bleibt zunächst liegen, um nach dem Erwachen der Vegetation im nächsten Frühjahr zum Aufbau neuer Substanz benutzt zu werden. So lebt der Keimling der Getreidesamen zunächst von den im Korn aufgespeicherten Reservestoffen, unter denen sich außer den Kohlehydraten auch Fett und stickstoffhaltige Verbindungen, sowie Mineralstoffe befinden, auch die Keimung der Kartoffelknollen geht mit dem Verschwinden der Stärke aus der Knolle Hand in Hand. Erst bis sich wieder Blätter und Wurzeln gebildet haben, übernehmen diese die Ernährung der jungen Pflanze, sie beginnen wieder zu „assimilieren". Doch auch während der Winterruhe dienen die Reservestoffe zur Erhaltung des Lebens in den ruhenden Organen, wie in dem Getreide und in den Wurzeln und Knollen. Dann wird unausgesetzt unter Vermittlung von

Enzymen Stärke gelöst, die weiter in Kohlensäure und Wasser zerfällt und dabei jene Kraftsumme liefert, die zur Erhaltung des Lebens in der ruhenden Knolle und im ruhenden Samen erforderlich ist. Damit hängt auch die bekannte Tatsache zusammen, daß eingelagerte Kartoffeln, Getreide 2c. leichter werden. Zum Teil hängt der Gewichtsverlust allerdings auch mit dem durch Austrocknung bedingten Wasserverluste zusammen, doch spielt auch die Atmung eine große Rolle. Die Atmungsintensität steigt, wenn die stärkehaltigen Früchte in einem warmen Raume eingelagert sind, dann ist auch der Verlust ansehnlicher.

Bringen wir Stärke, die verschiedenen Rohmaterialien entstammt, unter das Mikroskop so sehen wir, daß sich die einzelnen Stärkekörner sowohl durch ihre Größe als auch durch ihre Form ziemlich deutlich voneinander unterscheiden. Die Stärkekörner der Kartoffel (Fig. 21 A) sind groß und häufig deutlich geschichtet, die des Mais (Fig. 21 B) klein und vieleckig. Noch kleiner ist die Reisstärke (Fig. 21 C), während die Weizenstärke (Fig. 21 D) mehr runde Körner zeigt, die größer sind als die des Mais, aber kleiner als jene der Kartoffel. Dieses abweichende Aussehen kann dazu dienen, Stärkesorten ihrer Abstammung nach zu erkennen und in Gemengen zu unterscheiden.

Stärke ist in kaltem Wasser unlöslich, solange die einzelnen Körner unverletzt sind. Zerreibt man aber die Stärke unter Wasser, so gelingt es, nach und nach einen großen Teil in Lösung zu bringen. Erwärmt man in Wasser aufgeschlämmtes Stärkemehl, so tritt bei einer gewissen Temperatur, die bei den verschiedenen Stärkearten wechselt, Verkleisterung ein, d. h. es entsteht eine klebrige, gallertartige, schwach opalisierende Masse. Verfolgt man die Verkleisterung unter dem Mikroskope, so nimmt man wahr, daß sich der Vorgang nicht plötzlich, sondern nach und nach vollzieht. Während in den allerersten Stadien das Stärkekorn in seiner Form noch vollständig erhalten ist, bilden sich bald zahlreiche, vom Kerne ausgehende Risse und Sprünge, im Kerne entsteht ein Hohlraum, der sich rasch vergrößert, es tritt Verflüssigung ein und endlich hat das Stärkekorn seine ursprüngliche Gestalt vollständig

verloren, es erscheint noch wie eine mit Flüssigkeit erfüllte Blase, die endlich mit der Umgebung verschmilzt. Angesichts

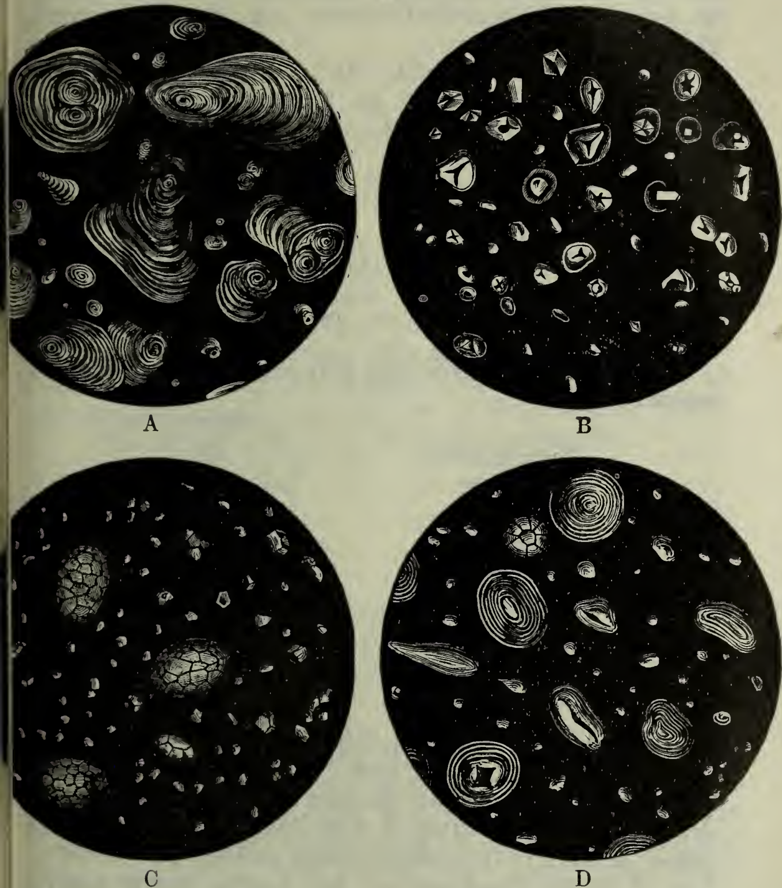


Fig. 21. Stärkekörner, stark vergrößert. A Kartoffelstärke; B Maisstärke; C Reisstärke; D Weizenstärke.

dieser Erscheinung kann wohl von einer eigentlichen Verkleisterungstemperatur nicht die Rede sein. Man kann nur

von Temperaturgrenzen sprechen, innerhalb derer sich die Verkleisterung vollzieht. Kartoffelstärke verkleistert am leichtesten und raschesten, am schwersten Reisstärke und Weizenstärke, bei denen vollständige Verkleisterung erst bei Temperaturen über 80° eintritt.

Die genauesten und unter Berücksichtigung aller Faktoren ausgeführten Versuche über die Verkleisterungstemperaturen verdanken wir Lintner; er fand die folgenden Zahlen:

	Noch unverändert bei Grad C	Starke Quellung
Kartoffelstärke . . .	45	55
Maisstärke	50	65
Weizenstärke . . .	45	60
Reisstärke	60	70

Vollständige Verkleisterung tritt bei den folgenden Temperaturen ein:

	Grad C
Kartoffelstärke	65
Maisstärke	75
Gerstenstärke	80
Darrmalzstärke	80
Roggenstärke	88
Weizenstärke	80
Reisstärke	80
Luftmalzstärke	80—85
Haferstärke	85

Die Stärkekörner bestehen nicht ausschließlich aus „Stärke", deren Zusammensetzung wir noch erörtern werden, sondern sie enthalten stets auch geringe Mengen von Eiweißkörpern, Fett, Zellulose und Asche. Auch ist stets Wasser vorhanden, seine Menge schwankt in lufttrockener Stärke zwischen 10 und 24%. Dies ist darauf zurückzuführen, daß trockene Stärke begierig aus der Luft Feuchtigkeit anzieht, Kartoffelstärke ist meist wasserreicher als Weizenstärke.

Nach Nossian werden von den verschiedenen Stärkearten folgende Wassermengen aufgenommen:

	Aus Luft mit 73 Prozent Feuchtigkeit werden aufgenommen	Aus Luft mit 100 Prozent Feuchtigkeit werden aufgenommen
Weizenstärke . . .	6·94	18·02
Kartoffelstärke . . .	10·33	10·92
Roggenstärke . . .	10·01	19·36
Maisstärke	10·53	19·55
Buchweizenstärke . .	10·85	20·02
Reisstärke	10·89	19·84
Eichelstärke	11·96	22·98

Die Stärke ist kein einheitlicher Körper, sondern sie besteht aus zwei Kohlehydraten, aus Amylozellulose oder Amylose und aus Amylopektin. Die Amylose vermag sich in heißem Wasser zu lösen, ohne Kleister zu bilden, Amylopektin liefert Kleister. Die Stärken enthalten ungefähr 80 bis 85 Prozent Amylose und 20 bis 15 Prozent Amylopektin.

Die Stärke enthält, in Prozenten ausgedrückt,

Kohlenstoff	44·42
Wasserstoff	6·22
Sauerstoff	49·36
	100·00

dies entspricht der empirischen Formel $C_6H_{10}O_5$. Doch gibt sie uns über die Größe des Moleküls keine Auskunft, sondern stellt nur die einfachste mögliche Zusammensetzung dar. Die Arbeiten zahlreicher Forscher haben jedoch ergeben, daß wir die Stärke als ein Gemenge von Polysacchariden auffassen müssen, das aus zahlreichen Gruppen der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$ besteht. Wie viele solcher Gruppen zusammentreten müssen, um Stärke zu bilden, konnte mit Sicherheit noch nicht ermittelt werden, die Angaben bewegen sich zwischen 5 und 100 und nach Syniewski lautet die Formel der Stärke $C_{216}H_{360}O_{180}$.

Erhitzt man Stärke mit Wasser in einem geschlossenen Gefäße auf 150°, was einem Drucke von 5 Atmosphären entspricht, so wird sie gelöst ohne gleichzeitiger Entstehung größerer Zuckermengen. Nach dem Erkalten scheidet sich die

Stärke in Form einer festen, braun gefärbten Gallerte wieder aus.

Wird Stärke mit verdünnten oder mit konzentrierten Mineralsäuren erwärmt, so wird sie ebenfalls gelöst, doch erleidet dann die Stärke selbst eine Veränderung. Das Stärkemolekül wird gespalten, wobei je nach der Konzentration der Säuren, der Dauer der Einwirkung und dem Grade der Erwärmung verschiedene Abbauprodukte auftreten. Zunächst entsteht eine Form der Stärke, die unter dem Mikroskope betrachtet, kaum Veränderungen wahrnehmen läßt, sich jedoch ziemlich leicht in Wasser löst, dann treten verschiedene Dextrine auf, und endlich tritt vollständige Spaltung des Moleküls in Dextrose (Stärkezucker) ein. Wird die Erhitzung noch weiter fortgesetzt, so erleidet auch die Dextrose eine Veränderung. Es bilden sich braune, unangenehm schmeckende Verbindungen, die dann auch ganz andere chemische Eigenschaften besitzen, wie die Dextrose oder die Stärke.

Verfolgt man den Vorgang der Lösung unter dem Mikroskope, so bemerkt man, daß nicht alle Stärkekörner das gleiche Verhalten zeigen. Einzelne werden gleichmäßig kleiner und verschwinden endlich ganz, andere wieder lassen tief in ihr Inneres reichende Spalten erkennen, die sich rasch vergrößern, häufig bleiben unveränderte Partikel zurück, welche die Form des ursprünglichen Stärkekornes mehr oder minder unverändert bewahren; man hat sie „Stärkeskelette“ genannt.

Die gleichen Erscheinungen lassen sich jedoch nicht nur bei der Einwirkung von Säuren auf Stärke beobachten, sondern sie treten auch auf, wenn Enzyme, wie Diastase, Ptyalin oder Pepsin auf die Stärke einwirken.

Stärke wird jedoch auch durch Erhitzen auf höhere Temperaturen verändert. Sie durchläuft, wenn die Temperatur allmählich gesteigert wird, alle Farbennuancen vom zartesten Gelb bis zum tiefen Braun; fährt man mit dem Erhitzen fort, so verkohlt sie schließlich. Die Gelbfärbung beginnt bei 120 bis 130°, deutliche Braunfärbung stellt sich jedoch erst bei Temperaturen über 200° ein. Gleichzeitig tritt auch eine Veränderung der allgemeinen Eigenschaften der Stärke ein. Sie wird in Wasser löslich, und zwar in um so größerer

Menge, je höher die Erhitzung getrieben wurde. Man bezeichnet diesen Körper als „Dextrin“, von den besonderen Eigenschaften der Dextrine wird später noch gesprochen werden.

Eine charakteristische Reaktion gibt Stärke mit Jodlösung, sie wird dadurch intensiv blau gefärbt. Die Blaufärbung ist auf die Bildung von Jodstärke zurückzuführen, je nach der Konzentration der Jodlösung und der Stärkemenge variiert die Färbung vom zartesten Himmelblau bis zum tiefsten Blauschwarz.

Zur Ausführung dieser in den Gärungsgewerben höchst wichtigen Reaktion benutzt man am besten eine Jodlösung, die durch Lösen von Jod in Jodkalium bereitet wird. Zu diesem Zwecke werden

Jod	5	Gramm
Jodkalium . .	10	„

in wenig Wasser gelöst, diese Lösung wird dann auf 200 Kubikzentimeter mit Wasser ergänzt. Zur Ausführung der Reaktion wird diese Vorratslösung noch mit der 4- bis 5fachen Wassermenge verdünnt, ist sie zu konzentriert, so leidet die Schärfe der Reaktion.

Die Blaufärbung ist um so deutlicher und sie tritt um so rascher ein, je kälter die stärkehaltige Flüssigkeit ist. Heiße stärkehaltige Flüssigkeiten geben die Jodreaktion überhaupt nicht, sondern es tritt nur die gelbe Farbe der Jodlösung hervor, doch stellt sie sich während der Abkühlung ein, sofern sich inzwischen das Jod nicht verflüchtigt hat. Setzt man aber das Erhitzen nach dem Zusatze der Jodlösung sehr lange fort, so tritt die Blaufärbung überhaupt nicht mehr auf, weil dann das Jod sich zum Teil verflüchtigt oder in Jodwasserstoff überging, der auf Stärke nicht mehr einwirkt.

Dieses Verhalten der Stärke gegen Jod bildet ein sicheres und zuverlässiges Mittel, Stärke nachzuweisen. Die Reaktion ist so empfindlich, daß schon ganz kleine Mengen mit vollster Sicherheit erkannt werden können, vorausgesetzt, daß man die Bedingungen einhält und weder mit zu konzentrierten, noch mit zu heißen Lösungen arbeitet.

Durch Behandlung der Stärke mit verschiedenen Agentien ist es möglich, sie, ohne ihre Struktur oder die chemische Zusammensetzung zu ändern, in eine wasserlösliche Modifikation überzuführen. Dies gelingt z. B., wenn man Stärke mit 7 bis 8 Prozent Salzsäure übergießt und einige Tage stehen läßt oder indem man sie mit Glyzerin auf 120 bis 150° erhitzt.

Auch durch Einwirken von Natriumsuperoxyd auf Stärke wird sie in die wasserlösliche Modifikation übergeführt, ebenso nach dem Verfahren von Wroblewski, der die Stärke in 2prozentiger Kalilauge unter Kochen löst und sie dann, nach Ansäuern mit Essigsäure, durch Zusatz von Alkohol ausfällt. Das Verfahren wird zum Zwecke der Reinigung wiederholt, diese „lösliche Stärke“ ist in ungefähr 30 Teilen Wasser von gewöhnlicher Temperatur löslich.

Lösliche Stärke bildet ein weißes Pulver, das sich ganz wie gewöhnliche Stärke verhält und auch mit Jod die besprochene Blaufärbung gibt. Wird sie längere Zeit aufbewahrt, so geht sie nach und nach wieder in die unlösliche Modifikation über. Auch Lösungen scheiden mit der Zeit wieder unlösliche Stärke aus.

Abbauprodukte der Stärke (Dextrine).

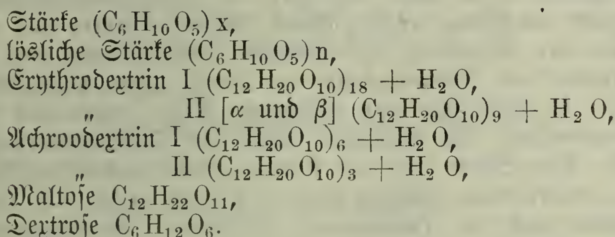
Der Umwandlungen, welche die Stärke durch die Einwirkung von Säuren unter Erwärmen oder unter gleichzeitiger Anwendung von Druck, durch Erhitzen und durch das Enzym „Diastase“ erleidet, haben wir schon gedacht. Verfolgt man jedoch die sich dabei abspielenden Reaktionen näher, so ergibt sich, daß eine Reihe von Zwischen- oder Umwandlungsprodukten entsteht, die sich durch ihr Verhalten sowohl von der Stärke als auch untereinander unterscheiden.

Das Endprodukt der Einwirkung von Diastase auf Stärke ist eine Zuckerart, die Maltose, der Einwirkung von Säuren eine andere Zuckerart, die Dextrose (Traubenzucker, Stärkezucker). Die intermediär auftretenden Spaltungsprodukte werden „Dextrine“ genannt, von denen eine größere Anzahl mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte.

Das Auftreten dieser Verbindungen läßt sich leicht er-

klären, wenn wir uns des über das Stärkemolekül Gesagten erinnern. Das Stärkemolekül besteht aus zahlreichen, aneinandergelagerten Gruppen mit der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$. Durch Einwirkung von Diastase, Säuren oder Wärme wird nun dieser umfangreiche Komplex zertrümmert — „abgebaut“ — jedoch nicht plötzlich, sondern nach und nach. Die dabei auftretenden Zwischenprodukte, deren Molekül immer kleiner wird, sind die Dextrine, bis wir als Endglied zu Maltose, beziehungsweise Dextrose gelangen. Die Spaltung haben wir ebenfalls als „Hydrolyse“ aufzufassen, d. h. der Abbau besteht nicht nur in einem Zerbröckeln des Stärkemoleküls, sondern es findet gleichzeitig eine Anlagerung der Elemente des Wassers statt.

Lintner und Düll haben dies auf Grund umfassender Untersuchungen durch Formeln veranschaulicht, die folgendermaßen lauten:


Stärke $(C_6H_{10}O_5)x$,
lösliche Stärke $(C_6H_{10}O_5)n$,
Erythrodextrin I $(C_{12}H_{20}O_{10})_{18} + H_2O$,
" II [α und β] $(C_{12}H_{20}O_{10})_9 + H_2O$,
Achroodextrin I $(C_{12}H_{20}O_{10})_6 + H_2O$,
" II $(C_{12}H_{20}O_{10})_3 + H_2O$,
Maltose $C_{12}H_{22}O_{11}$,
Dextrose $C_6H_{12}O_6$.

Die Dextrine sind ausnahmslos in Wasser leicht löslich, dagegen schwer in Alkohol. Doch ist das Verhalten gegen Alkohol nicht gleich, die der Maltose näher stehenden Glieder dieser Reihe sind leichter in Alkohol löslich als jene, welche noch mehr Verwandtschaft mit der Stärke besitzen.

Sehr charakteristisch ist das Verhalten der Dextrine gegen Jodlösung und dies bietet gleichzeitig ein Mittel, um sie zu unterscheiden und den Verlauf des Stärkeabbaues zu verfolgen. Wir gelangen zu der folgenden Reihe:

Stärke	färbt	sich	mit	Jodlösung	blau,
lösliche Stärke	"	"	"	"	blau,
Amylodextrine färben	"	"		"	violett,

Erythrodextrine färben sich mit Jodlösung rot,
Achroodextrine " " " " gelb (Farbe der Jodlösung),
Maltodextrine, Maltose und Dextrose farblos.

Doch unterscheiden sich die Dextrine auch noch nach zwei anderen Richtungen, und zwar durch das Verhalten zum polarisierten Lichte und durch das Vermögen Fehlingsche Lösung zu reduzieren.

Viele Körper, und besonders die zur Gruppe der Kohlehydrate gehörenden, besitzen die Eigenschaft, den polarisierten Lichtstrahl abzulenken. Die Ablenkung kann nach rechts oder nach links geschehen, man spricht demnach von rechtsdrehenden und von linksdrehenden Verbindungen. Die Größe der Ablenkung ist für jede Verbindung — gleiche Konzentration und Temperatur vorausgesetzt — stets gleich, auf Grund dieses Verhaltens ist es daher mit Hilfe der Polarisationsapparate möglich, die Menge eines „optisch aktiven" Körpers aus dem Grade der Ablenkung zu bestimmen. Verfolgt man nun das Verhalten der Abbauprodukte der Stärke gegen polarisiertes Licht, so ergibt sich eine absteigende Reihe, indem mit dem Kleinerwerden des Moleküls auch das Drehungsvermögen sinkt. Die Stärke und ihre Abbauprodukte lenken die Ebene des polarisierten Lichtes stets stark nach rechts ab, daher stammt auch die Bezeichnung „Dextrine", beziehungsweise „Dextrose".

Das Verhalten der Dextrine gegen Fehlingsche Lösung beruht auf folgendem: Manche Zuckerarten, wie die Dextrose und die Lävulose, das als Spaltungsprodukt der Saccharose auftretende Gemenge beider, der „Invertzucker", dann Maltose, Dextrine, Milchzucker u. a. besitzen die Eigenschaft, alkalische Kupferlösung zu reduzieren, wobei rot gefärbtes Kupferoxydul abgeschieden wird. Die Menge des Kupferoxyduls steht im Verhältnisse zur Menge der reduzierenden Substanz, die reduzierenden Verbindungen besitzen aber ein verschiedenes Reduktionsvermögen. Auch ist die Menge des Niederschlages von Kupferoxydul nicht direkt der Menge des reduzierenden Körpers proportional, d. h. zwei Teile Zucker

reduzieren nicht doppelt so viel Kupferlösung, wie ein Teil. Man muß sich — soll dieses Verhalten zur quantitativen Bestimmung reduzierender Verbindungen benutzt werden — besonderer Tabellen bedienen, aus denen man die einer gefundenen Kupfermenge entsprechende Menge Zucker 2c. ablesen kann.

Versetzt man die Lösung eines Kupfersalzes, etwa Kupfervitriol, mit einem Alkali, so wird voluminöses, blaues Kupferoxydhydrat gefällt. Sind jedoch organische Säuren zugegen, so entstehen lösliche Doppelsalze und die Lösung nimmt eine prächtige, tiefblaue Farbe an. Eine solche alkalische, organische Säuren enthaltende Kupferlösung ist die Fehlingsche Lösung. Sie wird bereitet, indem man gleiche Volumina einer Lösung von Kupfersulfat (Kupfervitriol) und einer aus weinsaurem Natronkali (Seignettesalz) und Ätznatron bereiteten Lösung zusammengießt.

Die Kupfersulfatlösung enthält 69·26 Gramm reinen, kristallisierten, nicht verwitterten Kupfervitriol im Liter. Die Seignettesalzlösung wird bereitet, indem man

173 Gramm Seignettesalz
in 400 Kubikzentimeter Wasser

löst und der Lösung

100 Kubikzentimeter einer Natronlauge

zufügt, die im Liter

516 Gramm reines Ätznatron

enthält.

In der folgenden Tabelle ist sowohl das Drehungsvermögen, wie das Reduktionsvermögen der Abbauprodukte der Stärke zusammengestellt. Bemerkt sei, daß das Drehungsvermögen der Stärke (als Kleister oder in Form von löslicher Stärke) 202·0 beträgt.

	Drehungsvermögen $[\alpha]D$	Reduktionsvermögen (Maltose = 100)
Stärke	+ 202·0	0
Amylodextrin:		
mit Diastase gewonnen	+ 193·4	0
mit Säure gewonnen .	+ 196	6·6
sog. stabiles Dextrin .	+ 195—195·7	5·7—5·9

	Drehungsvermögen $[\alpha]D$	Reduktionsvermögen (Maltose = 100)
Erythrodextrin I	+ 196	3·5
" II α . .	+ 194	8·6
" II β . .	+ 194	8·6
Achroodextrin I	+ 192	12—13
" II . . .	+ 180	12·5
" III. . . .	+ 171·1	42·5
Maltodextrin α	+ 180	32·8
" β	+ 171·6	43·
" γ	+ 160	60
Maltose	+ 137·9	100
Dextrose	+ 52·75	172·5

Wichtig ist auch das Verhalten der Dextrine bei der Gärung. Die wenigsten Saccharomyceten vermögen Dextrine in erheblichen Mengen zu vergären. Doch ist mit Sicherheit erwiesen, daß Saccharomyces Pombe (siehe S. 113) ein Achroodextrin zu vergären vermag, während die „Logos“hefe auch die beiden anderen Dextrine vergärt. Auch die Hefen Saaz und Frohberg vergären, wenn auch nur sehr schwierig, das Achroodextrin. Wahrscheinlich handelt es sich hier aber nicht um eine unmittelbare Zerlegung der Dextrine, sondern jene Heferassen, welche Dextrine zu vergären vermögen, scheiden vermutlich ein Enzym aus, welches vorher den weiteren Abbau der Dextrine in direkt gärungsfähige Verbindungen (Maltose, beziehungsweise Dextrose) besorgt.

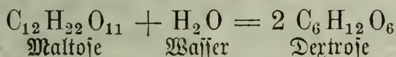
Maltose.

Wirkt das Enzym „Diastase“, das sich im keimenden Gerstenkorne bildet, auf Stärke ein, so entsteht als letztes Abbauprodukt eine Zuckerart, die Maltose. Der Vorgang verläuft jedoch nicht quantitativ, weil es nicht möglich ist, alle Stärke in Maltose überzuführen. Stets entstehen auch Dextrine, und zwar rund 81 Prozent Maltose und 19 Prozent Dextrine, das Verhältnis, in welchem diese beiden Körper entstehen, ist von der Temperatur und der Konzentration abhängig. Es soll jedoch auch gelingen, unter Anwendung be-

sonderer Bedingungen eine weit höhere Ausbeute, bis zu 96 Prozent Maltose, zu erhalten.

Im reinen, kristallisierten Zustande bildet die Maltose eine aus feinen Nadeln bestehende Kristallmasse oder harte aus Kristallen bestehende Krusten, die sich leicht in heißem, schwieriger in kaltem Wasser lösen und deutlich süß schmecken. Das Drehungsvermögen der Maltose ist fast dreimal so groß als jenes der Dextrose, es beträgt 137·93. Maltose vermag Fehlingsche Lösung zu reduzieren, doch auch durch das Reduktionsvermögen unterscheidet sie sich von der Dextrose. Während 100 Milligramm Dextrose 195 Milligramm Kupfer reduzieren, reduzieren 100 Milligramm Maltose nur 113 Milligramm.

Die Maltose besitzt die Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$, durch Erwärmen mit Säuren wird sie in Dextrose gespalten, ein Vorgang, der unter Wasseraufnahme (Hydrolyse) verläuft:



$$\underset{\text{Maltose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Dextrose}}{2\,C_6H_{12}O_6}$$

doch verläuft dieser Vorgang langsamer, als die Hydrolyse des Rohrzuckers. Die gleiche Spaltung bewirkt auch ein Enzym, die Maltase oder Glukase, das sowohl in der Hefe wie im Malze enthalten ist.

Maltose wurde früher für direkt vergärbar gehalten, nach den Arbeiten von Lintner und Fischer ist diese Anschauung jedoch nicht zutreffend. Sie muß zunächst in Dextrose gespalten werden, was das eben erwähnte Enzym, die Maltase, besorgt.

Dextrose.

Die Dextrose, auch Glykose, Traubenzucker oder Stärkezucker genannt, ist eine in der Natur weit verbreitete Zuckerart. Sie ist im Safte der meisten süßen Früchte, im Traubensafte, im Honig usf. enthalten und wird fabriksmäßig durch Behandlung von Stärke mit Säuren unter Druck dargestellt. In der Natur tritt die Dextrose jedoch nur selten allein, sondern meist im Gemenge mit Lävulose als „Invertzucker" auf, welcher sich bei der Hydrolyse des Rohrzuckers bildet.

Die Dextrose dreht die Polarisationsebene nach rechts, reduziert Fehlingsche Lösung und ist direkt vergärbar, d. h. es findet vorher keine weitere Spaltung statt. Ihre Formel lautet $C_6H_{12}O_6$.

Wird Dextrose mit Säuren behandelt, so erleidet sie keine Veränderung, erst bei längerem Erhitzen wird eine neue Verbindung, Lävulinsäure, gebildet. Alkalien wirken dagegen ziemlich energisch ein, es entstehen dunkelgefärbte Verbindungen, schließlich humusähnliche Produkte.

Wichtig ist eine Beobachtung Duclaux', welcher zeigte, daß Dextrose in alkalischer Lösung unter Einwirkung des Lichtes in Alkohol und Kohlensäure zerfällt. Dies entspricht ganz der Spaltung bei der Gärung, nur mit dem Unterschiede, daß hier weder lebende Hefe noch ein Enzym mitwirkt.

Lävulose.

Die Lävulose, auch Fruktose oder Fruchtzucker genannt, besitzt die gleiche chemische Zusammensetzung, wie die Dextrose: $C_6H_{12}O_6$, unterscheidet sich aber von dieser durch ihr optisches und chemisches Verhalten. Während die Dextrose die Ebene des polarisierten Lichtstrahles stark nach rechts ablenkt, ist die Lävulose linksdrehend, in 10prozentiger Lösung bei 20° beträgt das Drehungsvermögen — 93·01°.

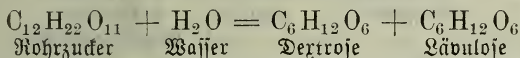
Lävulose reduziert Fehlingsche Lösung, auch ist sie direkt vergärbar. In der Natur tritt sie meist mit der Dextrose gemeinsam auf. Wird ein aus gleichen Teilen beider Zuckerarten bestehendes Gemisch vergoren, so verschwindet die Dextrose allerdings rascher, aber nur deshalb, weil sie ein größeres Diffusionsvermögen besitzt und daher rascher die Membran der Hefezellen zu durchdringen vermag.

Fruchtzucker kann aus Invertzucker dargestellt werden, direkt erhält man Lävulose durch Verzuckerung der Stärkeart Inulin mit Säuren.

Rohrzucker.

Der Rohrzucker oder Saccharose ist im Safte des Zuckerrohres und der Zuckerrübe enthalten. Er besitzt die Formel $C_{12}H_{22}O_{11}$, ist rechtsdrehend nicht direkt gärungsfähig.

Durch Einwirkung verdünnter organischer wie anorganischer Säuren wird der Rohrzucker sehr leicht in gleiche Mengen Dextrose und Lävulose gespalten, ebenso durch die Einwirkung von Enzymen, besonders durch die schon wiederholt erwähnte Invertase. Die Spaltung verläuft unter Wasseraufnahme nach der folgenden Gleichung:



$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O = C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

Rohrzucker Wasser Dextrose Lävulose

Fehlingsche Lösung vermag Rohrzucker nicht zu reduzieren, wohl aber der Invertzucker. Gegen Alkalien ist er weit weniger, gegen Säuren viel mehr empfindlich als die Dextrose. Saccharose gehört zur Gruppe der Biosen.

Rohrzucker bildet auch den für den Gärungstechniker wertvollen Bestandteil der Melassen, in denen er neben Salzen und organischen Verbindungen enthalten ist. Diese beeinträchtigen das Kristallisationsvermögen der Saccharose und sie wäre nur durch umständliche chemische Verfahren, z. B. durch Überführung der Saccharose in das Kalk-, Strontium- oder Barymsalz gewinnbar. Daher ist es meist wirtschaftlicher, die Melasse anderen Verwendungsarten, wie der Spiritusgewinnung zuzuführen; in den letzten Jahren hat die Melasse auch höhere Bedeutung als Viehfutter erlangt.

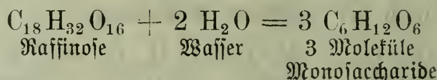
Raffinose.

Raffinose ist eine Zuckerart, welche vor allem in der Manna, dann aber auch im Samen der Baumwolle und — in geringen Mengen — in der Zuckerrübe enthalten ist. Doch sammelt sie sich in den Melassen an, so daß diese oft beträchtliche Mengen, bis zu 16 Prozent und selbst mehr, enthalten.

Das Drehungsvermögen der Raffinose, auch Melitriose oder „Pluszucker" genannt, ist bedeutender als das der Saccharose. Bestimmt man daher den Zuckergehalt raffinosereicher Melassen ausschließlich durch direkte Polarisation, so wird ein bedeutend höherer Saccharosegehalt vorgetäuscht, als tatsächlich vorhanden ist.

Raffinose besitzt die Formel $C_{18}H_{32}O_{16}$, schmeckt nicht

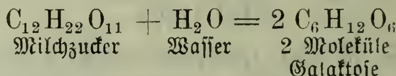
süß, reduziert Fehlingsche Lösung nicht und ist auch nicht direkt gärungsfähig. Sie gehört zur Gruppe der Trisaccharide, durch Inversion zerfällt sie zunächst in Lävulose und eine Biose, die Melibiose, die dann ihrerseits in Dextrose und Galaktose zerlegt wird:



Charakteristisch ist das Verhalten der Raffinose zu Unter- und Oberhefen. Unterhefen vergären die Raffinose zwar etwas langsamer als Rohrzucker, aber doch leicht und vollständig. Oberhefen zerlegen dagegen nur ein Drittel in Alkohol und Kohlensäure. Dies hängt damit zusammen, daß die Oberhefen wohl die bei der Spaltung zunächst entstehende Lävulose, aber nicht die Melibiose zu vergären vermögen.

Milchzucker.

Zur Gruppe der Disaccharide gehört ebenfalls der Milchzucker, auch Laktose genannt, der in der Milch in einer Menge von über 4 Prozent, in Schafmilch über 9 Prozent enthalten ist. Der Milchzucker besitzt die gleiche Formel wie der Rohrzucker: $C_{12}H_{22}O_{11}$, wird aber durch Hydrolyse in zwei Moleküle eines Monosaccharids, in Galaktose zerlegt:



Milchzucker wird nur von manchen Hefearten vergoren, unter der Einwirkung der Milchsäurebakterien geht er in Milchsäure über.

Zellulose.

Die Zellulose ($C_6H_{10}O_5$) ist im Pflanzenreiche sehr weit verbreitet, kommt jedoch nie rein, sondern stets mit anderen Stoffen organischer und anorganischer Natur vermengt vor. Das Holz z. B. besteht — abgesehen von den Mineralstoffen — nur etwa zur Hälfte aus Zellulose, die andere Hälfte ist Lignin, ein Körper, der ebenfalls zur Gruppe der Kohlehydrate gehört. Durch Einwirkung konzentrierter Schwefel-

säure wird Zellulose in eine sich mit Jodlösung blau färbende Verbindung, in Amyloid, übergeführt. Wirkt die Säure längere Zeit und unter Erwärmen ein, so entsteht als Endprodukt der Spaltung Dextrose.

Wir kennen heute zahlreiche Verfahren, die darauf hinauslaufen, die Zellulose in gärungsfähigen Zucker umzuwandeln. Dies ist — wie eben gezeigt — allerdings möglich, doch dürften diese Verfahren kaum jemals eine besondere Bedeutung für die Praxis erlangen. Denn Zellulose kommt in der Natur eben nie rein, sondern stets mit anderen Stoffen gemengt vor, die bei der Spaltung nicht Hexosen, also Zuckerarten mit 6 Atomen Kohlenstoff im Moleküle, sondern Pentosen, wie Arabinose und Xylose, liefern. Diese Zuckerarten enthalten nur 5 Atome Kohlenstoff im Molekül, ihre Formel lautet $C_5H_{10}O_5$. Sie sind zwar durch ihre allgemeinen Eigenschaften den echten Zuckerarten, den Hexosen, sehr ähnlich, aber nicht gärungsfähig. Die Ausbeuten, welche bei der Verarbeitung von Zellulose, beziehungsweise Holz zu Alkohol erhalten werden, sind daher zu gering, um solche Verfahren rentabel zu gestalten. Das gleiche gilt natürlich auch vom Torf, der ebenfalls schon wiederholt als Ausgangsmaterial für die Spiritusgewinnung empfohlen wurde. Hier sind, da die Zellulose im Torfe schon zum Teil zersetzt und verändert ist, die Ausbeuten noch geringer als bei Holz.

Auch die Pentosane, eine Körpergruppe mit der Zusammensetzung $C_5H_8O_4$, sind im Pflanzenreiche sehr weit verbreitet. Werden sie der Hydrolyse unterworfen, so liefern sie Pentosen, also Zuckerarten mit 5 Atomen Kohlenstoff, die zwar Fehlingsche Lösung reduzieren, aber nicht vergoren werden.

Inulin und Lävulin.

Inulin und Lävulin sind Kohlehydrate mit der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$, die sich in den Knollen mancher Pflanzen, so in den Dahlienarten, dann aber auch im Topinambur finden. Sie sind in kaltem Wasser unlöslich, lösen sich jedoch in heißem Wasser und werden schon durch Kochen mit Wasser, rascher aber durch Kochen mit verdünnten Säuren

in Lävulose übergeführt. Auch die Invertase der Hefe vermag diese Spaltung zu besorgen.

Ein im isländischen Moose enthaltenes Kohlehydrat ist das Lichenin, welches von den Lappen zur Bereitung alkoholhaltiger Getränke verwendet wird.

In der vorstehenden Besprechung der Kohlehydrate wurden diese vor allem unter Berücksichtigung ihres chemischen, beziehungsweise physikalischen Verhaltens gruppiert, wozu einerseits ihre chemische Zusammensetzung und die Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül, anderseits ihr Reduktionsvermögen gegen Fehlingsche Lösung und das optische Drehungsvermögen diente. Man kann jedoch auch eine Einteilung der Kohlehydrate nach ihrer Vergärbarkeit, beziehungsweise nach ihrem Verhalten zu den Heferassen treffen und gelangt dann zu ebenso interessanten, wie für den Gärungstechniker wichtigen Beziehungen. Eine solche Zusammenstellung der Kohlehydrate unter diesem Gesichtspunkte verdanken wir Delbrück in Max Maerkers „Handbuch der Spiritusfabrikation“, wir erhalten das folgende Bild:

1. Hexosen, durch alle Heferassen, auch durch Saccharomyces apiculatus vergärbar. Hierher gehören:

a) Dextrose, aus Maltose durch Spaltung entstanden und durch ein im Malz vorkommendes Enzym, die Glukase;

b) Invertzucker, gebildet aus Rohrzucker durch enzymatische oder Säurespaltung.

2. Maltose, nicht vergärbar durch Saccharomyces apiculatus, sonst aber selbst durch schwach vergärende Hefen, wie Hefe Saaz.

3. Maltodextrin, ein Zwischenglied zwischen Maltose und den eigentlichen Dextrinen, nicht mehr vergärbar durch niedrig vergärende Hefen, wie Saaz, wohl aber durch Hefe Frohberg.

4. Eigentliche Dextrine. Diese Kohlehydrate sind durch die genannten Hefen ohne weiteres nicht vergärbar, sondern

nur durch einige besondere ausländische Hefen, wie Hefe Logos und Hefe Pombe.

5. Stärkemehl. Durch keine der genannten Heferassen direkt vergärbar, wohl aber durch die japanischen und chinesischen, bei der Bereitung alkoholischer Getränke benutzten Schimmelpilze, welche wie Hefen verwendet werden können, so durch den Mucor amylomyces.

6. Zellulose. Weder durch Hefen noch durch Schimmelpilze direkt vergärbar.

7. Pentosane und Pentosen. Gänzlich unvergärbar.

Allerdings muß betont werden, daß die Dextrine von der Buchnerschen Zymase (Hefepreßsaft) vergoren werden, selbst dann, wenn die Heferassen, aus denen der Preßsaft dargestellt wurde, nicht befähigt sind, die Dextrine anzugreifen. Von größter Wichtigkeit ist aber die Tatsache, daß die Dextrine auch von unseren einheimischen Hefen vergoren werden, wenn die Wirkung der Hefe durch Diastase unterstützt wird, d. h. wenn also gleichzeitig das Enzym Diastase zugegen ist.

2. Die Enzyme.

Den Ausdruck „Enzyme" haben wir schon wiederholt gebraucht und auch an einer früheren Stelle schon eine kurze Erklärung gegeben. Hier wollen wir uns nun eingehend mit dieser interessanten und für das Verständnis aller Gärungsvorgänge hochwichtigen und bedeutungsvollen Gruppe von Körpern befassen.

Saccharose wird — wie wir gesehen haben — durch Erwärmen mit Säuren in gleiche Mengen Dextrose und Lävulose gespalten. Der Vorgang verläuft unter Wasseraufnahme, irgendeine direkte Einwirkung der Säure, die wir verwenden, findet dabei jedoch nicht statt. Allerdings hängt der Verlauf der Zerlegung, d. h. die Geschwindigkeit, mit der sie erfolgt, sehr von äußeren Umständen, so von der Konzentration der Säure und der Temperatur ab. Wir können aber mit ganz geringen Säuremengen genau das gleiche erzielen, wie mit größeren bei höherer Temperatur, allerdings

dann erst nach Ablauf einer längeren Frist, also nach längerer Einwirkung. Die Säure selbst wird bei der Hydrolyse des Rohrzuckers nicht verändert und theoretisch sind wir imstande, mit einer minimalen Säuremenge enorme Mengen Saccharose zu invertieren, d. h. in Dextrose und Lävulose zu spalten.

Genau die gleiche Erscheinung, die Zerlegung der Saccharose unter Wasseraufnahme in Dextrose und Lävulose können wir jedoch auch durch einen organischen, stickstoffhaltigen Körper, welchen die lebende Hefe produziert, durch die Invertase hervorrufen. Auch hier beteiligt sich die Invertase nicht selbst an der Reaktion, sie wirkt nur durch ihre Gegenwart und verhält sich im übrigen genau wie die Säure: eine ganz geringe Menge ist befähigt, eine verhältnismäßig sehr große Menge Zucker zu spalten.

Stoffe, welche diese Eigenschaft besitzen und organischer Natur sind und von lebenden Zellen produziert werden, nennen wir Enzyme.

Der am längsten bekannte Körper dieser Art ist die Diastase, die sich bei der Keimung der Gerste bildet und die Stärke abbaut, wobei zunächst Dextrine, schließlich Maltose entsteht. Man kann die Diastase aus dem Malze isolieren und für sich allein zur Wirkung bringen, auch die Verwendung des Malzes in der Brauerei und Brennerei beruht auf der Wirkung dieses Enzymes.

Später wurde man dann mit einer großen Anzahl anderer Vorgänge bekannt, als deren Ursache man ebenfalls die Wirkung von Enzymen kennen lernte. Ihr Wirkung kann sich nach den verschiedensten Richtungen äußern, so ist beispielsweise die Abspaltung von Blausäure aus bitteren Mandeln, wenn sie unter Wasser zerrieben werden, ebenfalls auf die Tätigkeit eines Enzymes, des Emulsins, zurückzuführen, welches das Amygdalin der bitteren Mandeln in Benzaldehyd, Blausäure und Glukose spaltet; dieses Enzym wurde von Liebig und Wöhler schon im Jahre 1837 entdeckt.

Andere Enzyme wieder vermögen Fette zu spalten und in Glyzerin und freie Fettsäuren zu zerlegen, andere spalten die Eiweißkörper in Albumosen und Peptone. Die zur Gruppe

der Oxydasen gehörenden Enzyme übertragen Sauerstoff und sind bei der Umwandlung von Alkohol in Essigsäure durch die Essigpilze beteiligt. Endlich sind noch die Enzyme zu nennen, welche die Gärungserscheinungen hervorrufen, also Zucker in Alkohol und Kohlensäure, Milchzucker in Milchsäure verwandeln.

Somit sehen wir, daß durch die Enzymwirkungen fast durchwegs Erscheinungen hervorgerufen werden, welche den Gärungstechniker im höchsten Grade interessieren, wie der Abbau und die Verzuckerung der Stärke, die Inversion des Rohrzuckers, die Umwandlung des Alkohols in Essigsäure und endlich die Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure: die alkoholische Gärung.

Je nach ihrer Tätigkeit lassen sich demnach die Enzyme in Gruppen teilen, die Fischer folgendermaßen zusammenfaßte:

I. Abbauende Enzyme.

Körper höherer Zusammensetzung werden in einfachere Verbindungen zerlegt. Die Spaltung geschieht unter Aufnahme von Wasser (Hydrolyse).

1. Enzyme, welche Kohlehydrate spalten:

a) Diastase. Sie baut die Stärke zu Dextrinen, beziehungsweise Maltose ab.

b) Maltase. Sie spaltet die Maltose in Dextrose.

c) Glukase. Baut Stärke bis zur Dextrose ab.

d) Invertase (Invertin). Spaltet Saccharose in Dextrose und Lävulose.

e) Laktase. Spaltet Milchzucker in Dextrose und Galaktose.

f) Melibiase. Spaltet Melibiose in Galaktose und Dextrose.

2. Glykosidspaltende Enzyme:

a) Emulsin. Spaltet Amygdalin in Benzaldehyd, Blausäure und Glukose.

b) Myrosin. Bewirkt die Abscheidung des Senföles ꝛc.

3. Proteolytische Enzyme. Sie bauen Eiweißstoffe ab.

a) Pepsin. Im Magensafte enthalten, baut das Eiweiß bis zu Peptonen ab.

b) Trypsin. Die tryptischen Enzyme bauen Eiweißkörper bis zu Amiden ab.

c) Endotryptase. Bewirkt die „Selbstverdauung" der Hefe usw.

4. Fettspaltende Enzyme.

Die fettspaltenden Enzyme oder Lipasen zerlegen die Fette in Glyzerin und Fettsäure, möglicherweise verursachen sie das Auftreten des Glyzerins unter den Gärungsprodukten.

II. Oxydasen.

Die Oxydasen übertragen Sauerstoff und rufen Oxydationsvorgänge hervor und vermitteln beispielweise die Essiggärung.

III. Gärende Enzyme, Zymasen.

Diese Enzyme rufen die Erscheinungen der alkoholischen Gärung, die Zerlegung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure hervor.

a) Hefezymase (Zymase) spaltet nach den neuesten Forschungen Buchners den Zucker in Milchsäure.

b) Laktacidase zerlegt die Milchsäure in Alkohol und Kohlensäure.

Schon aus dieser kurzen Angabe über die Wirkung der Enzyme sehen wir, daß die meisten für die Gärungsgewerbe hohe Bedeutung besitzen. Es ist auch nicht zu übersehen, daß die Enzyme nicht nur einander vorarbeiten — z. B. Diastase-Maltase-Zymase — sondern daß sie in der Regel gleichzeitig auftreten, wodurch ihre Wirkung oft verschleiert wird. Ohne die Wirkung dieser Körper wären die Gärungsgewerbe undenkbar, wir müssen sie daher ebenfalls in den Kreis unserer Betrachtungen ziehen. Denn in letzter Linie sind die eigentlichen Gärungserscheinungen, das Auftreten von Alkohol und Kohlensäure nur das letzte Glied einer Kette von Erscheinungen, die ausschließlich auf enzymatischen Wirkungen beruhen.

Ihrer chemischen Beschaffenheit nach stehen die Enzyme den Eiweißkörpern ungemein nahe. Sie bestehen wie diese aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, manche enthalten auch Schwefel. Sie geben vielfach die gleichen Reaktionen wie die Proteine, werden durch Erhitzen in wässerigen Lösungen koaguliert und durch die Eiweißfällungsmittel gefällt.

Die Wirkung der Enzyme haben wir schon kurz geschildert, es handelt sich nun darum, eine Erklärung für diese auffallende Tätigkeit zu geben.

Wir kennen eine Reihe chemischer Vorgänge, die unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr langsam verlaufen oder bei denen ein Gleichgewichtszustand herrscht. Solche Gleichgewichtszustände können derart aufgefaßt werden, daß es sich um „umkehrbare Reaktionen" handelt, wobei sich in gleichen Zeitabschnitten Zerfall und Rückbildung die Wage halten. Nun kennen wir anderseits Körper, welche ungemein langsam verlaufende Reaktionen beschleunigen, beziehungsweise umkehrbare Reaktionen derart beeinflussen, daß der Vorgang nur nach einer Richtung verläuft. Man nennt solche Körper „Katalysatoren". Es hat nun sehr viel Wahrscheinlichkeit für sich, daß auch die Enzyme als Katalysatoren wirken. So können wir uns vorstellen, daß der Zerfall von Zucker in Alkohol und Kohlensäure ungemein langsam erfolgt, beziehungsweise daß im gleichen Tempo mit dem Zerfall auch wieder eine Rückbildung stattfindet und sich die Reaktion im Gleichgewicht befindet. Bei Gegenwart eines Enzymes wird jedoch das Gleichgewicht gestört und die Reaktion nach der einen Richtung, der des Zerfalles, beschleunigt. Ist dies zutreffend, so muß unter Umständen das Enzym auch aufbauend wirken können, d. h. die andere Richtung der Reaktion beschleunigen und zum Überwiegen bringen. Dies ist in der Tat der Fall und konnte auch wiederholt schon experimentell nachgewiesen werden. So gelang es z. B. Hill, durch Hefemaltase Glukose zurück in Maltose zu verwandeln, Laktase kann Glukose und Galaktose zu Laktose vereinigen usf.

Die besprochene Theorie hat daher viel Wahrscheinlichkeit für sich, wenn dadurch auch noch keine umfassende und alle

Erscheinungen erklärende Darlegung der Wirkung der Enzyme gegeben ist.

Es ist ferner auch sehr wahrscheinlich, daß viele Enzymwirkungen in der Weise zustande kommen, daß das Enzym mit dem zu spaltenden Körper zunächst eine Verbindung bildet, die jedoch viel leichter gespalten wird, wobei aber das Enzym selbst unverändert bleibt. Es ist daher imstande, sofort wieder neuerdings eine solche Verbindung einzugehen usf.

Doch darf auch nicht übersehen werden, daß die Enzyme sich in manchem Sinne ähnlich verhalten, wie die verschiedenen Heferassen den Zuckerarten gegenüber. Wie nicht jede Hefe jede Zuckerart zu vergären vermag, so kann auch nicht jedes Enzym alle Körper spalten. Die Invertase der Hefe wirkt nur auf Rohrzucker, nicht auf Milchzucker, Inulin und Stärke werden durch Invertase nicht verwandelt, wohl aber durch Diastase usf. Hieraus zog E. Fischer den Schluß, daß die Enzyme nur auf solche Stoffe wirken, die ähnlich wie sie selbst chemisch konstituiert sind. Er gebraucht das hübsche Bild, daß Enzym und Angriffsobjekt wie Schloß und Schlüssel zueinander passen müssen, um eine chemische Wirkung aufeinander auszuüben.

Die Diastase.

Die Diastase bildet sich während der Keimung der Getreidearten, in besonders großen Mengen in keimender Gerste mit Weizen, und bewirkt den Abbau der Stärke, beziehungsweise schließlich die Umwandlung in die Zuckerart Maltose. Dieser Prozeß besitzt für viele Gärungsgewerbe, vor allem für die Brennerei und die Bierbrauerei, die größte Bedeutung, weil sie das Mittel bildet, die unlösliche und direkt nicht gärungsfähige Stärke, welche das Ausgangsmaterial für diese Prozesse bildet, in lösliche und der Gärung fähige Verbindungen überzuführen.

Dieser Vorgang spielt sich jedoch nicht in einem Akte ab, etwa derart, daß aus der Stärke unmittelbar Maltose entsteht, sondern es findet durch die Wirkung der Diastase ein regelrechter Abbau des Stärkemoleküls statt, wie wir ihn schon auf Seite 161 besprochen haben. Es entsteht also zu-

nächst lösliche Stärke, aus dieser werden verschiedene Dextrine gebildet und deren letztes geht endlich in Maltose über. Mit Hilfe der Jodreaktion läßt sich dieser Vorgang sehr hübsch verfolgen, während die Stärke und die lösliche Stärke noch blau gefärbt werden, geben die Dextrine violette, beziehungsweise rote Töne, bis endlich keine Färbung mehr eintritt.

Auch die ungekeimten Getreidekörner enthalten schon ein Enzym, dem die Eigenschaft, Stärke zu lösen und zu verzuckern, zukommt. Das Vorhandensein eines solchen Enzymes ist nötig, um den Keimungsvorgang überhaupt einzuleiten, der mit Stoffumformung und -umwandlung verbunden ist. Dieses Enzym mit diastatischer Wirkung ist in allen Organen der grünen Pflanzen, bei deren Ernährung ja die Bildung, sowie die Lösung, der Transport und die Wiederabscheidung der Stärke eine bedeutsame Rolle spielt, weit verbreitet und wird „Translokationsdiastase" genannt. Für Brauerei und Brennerei, beziehungsweise für die Malzbereitung besitzt dieses Enzym jedoch keine Bedeutung oder höchstens insofern, als es den Keimungsvorgang überhaupt einleitet.

Erst die bei der Keimung sich bildende „Sekretionsdiastase" ist das technisch so wichtige Enzym. Zwischen beiden Diastasearten bestehen gewisse Unterschiede, aus denen deutlich hervorgeht, daß sie nicht identisch sind. So liegt das Temperaturoptimum der Translokationsdiastase, also jene Temperatur, bei welcher sie die größte Wirkung zu äußern vermag, zwischen 45 und 50°, für die Sekretionsdiastase dagegen zwischen 50 und 55°. Auch vermag die Translokationsdiastase Stärkekleister nur sehr langsam, Sekretionsdiastase dagegen sehr leicht umzuwandeln.

Im keimenden Getreidekorne bildet sich aber noch ein Enzym, welches ebenfalls technisch wichtig ist. Es ist dies die Cytase, welche die Zellulose des Endosperms zerreiblich macht und dadurch die als „Auflösung des Malzes" bezeichnete Erscheinung hervorruft.

Diastase läßt sich aus dem Malze isolieren. Nach Lintner wird zu diesem Zwecke 1 Teil Grünmalz mit 2 bis 4 Teilen 20prozentigem Alkohol durch 24 Stunden digeriert und die Lösung mit dem 2 bis 2½fachen Volumen

absolutem Alkohol gefällt. Dadurch scheidet sich ein Niederschlag in gelblichen Flocken ab, die sich rasch zu Boden setzen und schnell abfiltriert werden müssen. Dieser Niederschlag wird in einer Reibschale mit absolutem Alkohol behandelt, nochmals mit Alkohol ausgewaschen, schließlich mit Äther unter Abgießen behandelt und hierauf im Vakuum über Schwefelsäure getrocknet. Sehr wesentlich ist es, vor dem Trocknen durch die Behandlung mit Alkohol und Äther das Wasser so gründlich als möglich zu entfernen, weil sonst eine nur wenig wirksame Diastase erhalten wird. Um sie noch weiter zu reinigen, wird das Rohprodukt wiederholt in Wasser gelöst und mit Alkohol ausgefällt. Durch Dialyse lassen sich dann auch die Aschenbestandteile entfernen.

Die Wirkung der Diastase wird durch verschiedene Umstände teils günstig, teils ungünstig beeinflußt. Die größte Wirkung vermag die Temperatur zu äußern, durch Kochen wird die Diastase ganz unwirksam gemacht. Die oberste Grenze ihrer Wirksamkeit liegt bei 85°; bei 80° vermag sie zwar noch Stärkekleister zu verflüssigen, doch entstehen keine Abbauprodukte. Das Optimum der Verzuckerung liegt zwischen 50 und 75°, bei dieser Temperatur entsteht in der kürzesten Zeit die größte Menge Maltose und die geringste an Dextrin, und zwar werden gebildet:

80 Prozent Maltose,
20 „ Dextrin.

Wichtig ist, daß die Wirkung der Diastase stets proportional ihrer Menge ist. Dies gilt aber nur so lange, als weniger wie 30 bis 40 Prozent des Stärkemoleküls umgewandelt sind. Die Intensität der Wirkung der Diastase nimmt zwar bei größerer Verdünnung zu, doch vermag sie auch in sehr konzentrierten Lösungen zu wirken. Augenblicklich tritt ihre Wirkung ein, wenn die Stärke verkleistert ist, doch vermag sie auch unverkleisterte Stärke bei der Maischtemperatur zu lösen. Dann ist allerdings ihre Wirkung je nach der Art des Stärkemehles verschieden. Lintner hat hierüber umfassende Versuche durchgeführt, sie ergaben, daß Kartoffelstärke erst bei einem ihrer Verkleisterungstemperatur naheliegendem

Wärmegrade angegriffen wird, während Gerstenstärke und selbstredend auch die im Malz enthaltene Stärke schon bei niederer Temperatur gelöst werden. Reis- und Maisstärke sind sehr widerstandsfähig, dies geht aus den folgenden Zahlen hervor.

Während einer Einwirkungsdauer von 4 Stunden lösten sich:

	50°	55°	60°	65°
		Prozent		
Kartoffelstärke . .	0·13	5·03	52·68	90·34
Reisstärke . . .	6·58	9·68	19·68	31·14
Gerstenstärke . .	12·13	53·30	92·81	96·24
Grünmalzstärke .	29·70	58·56	92·13	96·26
Weizenstärke . .	—	62·23	91·08	94·58
Maisstärke . .	2·70	—	18·50	54·60
Roggenstärke . .	25·20	—	39·70	94·50
Haferstärke . .	9·40	48·50	92·50	93·40

Die Wirkung der Diastase wird auch durch die Gegenwart zahlreicher Stoffe beeinflußt, und zwar teils günstig, teils ungünstig. Im allgemeinen kann gesagt werden, daß saure Reaktion die Wirkung der Diastase befördert, alkalische sie dagegen vollständig hemmt. Demnach befördert die Gegenwart geringer Mengen freier Säuren den Abbau der Stärke, dies gilt ebenso von anorganischen Säuren, wie Flußsäure, sauren Salzen und sauer reagierenden organischen Verbindungen. Größere Mengen wirken jedoch ungünstig und heben schließlich die Wirkung der Diastase ganz auf. Das gleiche gilt auch von allen jenen Salzen der Schwermetalle, welche Eiweißkörper zu fällen vermögen. Quecksilber-, Blei-, Zink- und Eisensalze sind daher Schädiger der Diastase.

Eine nach jeder Richtung zutreffende Erklärung der Wirkung der Diastase zu geben, war bisher noch nicht möglich, wohl auch deshalb, weil die Zwischenprodukte, die bei dem Abbaue der Stärke durch die Diastase entstehen, noch nicht ausnahmslos mit Sicherheit bekannt sind. Weil ferner die Abbauprodukte stets nebeneinander auftreten, ist es auch nur unter großen Schwierigkeiten möglich, sie zu isolieren

und festzuhalten, es wird daher möglicherweise niemals gelingen, die Frage nach den Vorgängen während des Abbaues der Stärke mit voller Sicherheit zu beantworten.

Die Maltase.

Das Enzym Maltase gehört zur Gruppe der Glykasen und spaltet die Maltose in Dextrose. Wichtig ist, daß sich dieses Enzym in der Hefe, und zwar im Innern der Hefezellen vorfindet. Bei der Vergärung von Maltose und Maltodextrin, das durch die Maltase ebenfalls gespalten wird, findet daher die Spaltung im Innern der Zellen statt. Gärende Maltoselösungen enthalten stets nur geringe Mengen Dextrose, dagegen gelingt es, mit zerriebener Hefe, die keine lebenden Zellen mehr enthält, Maltose zu spalten. Auch manche Schimmelpilze produzieren ein ähnlich wirkendes Enzym.

Die Glukase.

In ihrer Wirkung ist die Glukase der Maltase sehr nahe verwandt, doch äußert sie sich auch auf Stärke, beziehungsweise Dextrine und führt sie in Dextrose über. Sie ist auch in gekeimten und ungekeimten Getreidekörnern nachgewiesen worden.

Die Invertase.

Dieses Enzym, häufig auch „Invertin" genannt, spaltet den Rohrzucker in gleiche Teile Dextrose und Lävulose. Dieser „Invertzucker" ist gärungsfähig, während die Saccharose von der Hefe nicht direkt vergoren wird. Doch erzeugt die Hefe das Enzym Invertase selbst, aus Hefe kann es auch sehr leicht dargestellt werden.

Die Invertase vermag noch bei einer Temperatur, die etwas über 0° liegt, zu wirken, allerdings ist die Wirkung dann sehr gering. Mit zunehmender Temperatur wächst jedoch die invertierende Kraft zunächst nur langsam, dann aber bis 60° immer schneller. Das Optimum liegt zwischen 55 und 60°.

Wie alle Enzyme, wird auch die Invertase durch höhere Temperaturen unwirksam gemacht, gegenüber Säuren und

Alkalien verhält sie sich ähnlich wie die Diastase. Milchzucker, Maltose, Stärke und Inulin werden von der Invertase nicht verändert, außer Rohrzucker spaltet sie nur noch die Raffinose in Melibiose und Lävulose.

Invertase, beziehungsweise den Rohrzucker spaltende Enzyme wurden außer in der Hefe auch in vielen Bestandteilen von Pflanzen, sowie im tierischen Organismus nachgewiesen. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird die Saccharose vom Organismus nicht unmittelbar aufgenommen, sondern ebenfalls erst nach der Spaltung.

Die Laktase.

Die Laktase ist ein Enzym, das in vielen Heferassen gefunden wurde und die Fähigkeit besitzt, Milchzucker in Dextrose und Galaktose zu zerlegen, die gärungsfähig sind, während der Milchzucker direkt nicht vergoren wird. Besonders reich an diesem Enzym sind die Kefierhefen, also jene Gärungsorganismen, welche zur Bereitung gegorener Getränke aus Milch (Kefier, Kumis, Yogurt usf.) verwendet werden. Laktase wurde jedoch auch im Tierkörper gefunden.

Die Melibiase.

Das Enzym Melibiase, auch Raffinase genannt, zerlegt die Melibiose in Dextrose und Galaktose. Sie wandelt also das aus Raffinose durch die Wirkung der Invertase erhaltene primäre Spaltungsprodukt weiter um. Fischer und Lintner konnten Raffinase auch aus untergärigen, nicht aber aus obergärigen Hefen darstellen.

Emulsin.

Das Emulsin gehört zu den glykosidspaltenden Enzymen, denen z. B. auch das in dem Samen des Senfs enthaltene Myrosin zuzuzählen ist. Diese Gruppe von Enzymen bewirkt Spaltungen, welche jedoch für den Gärungstechniker ohne Belang sind und die wir daher übergehen können.

Pepsin.

Das Pepsin gehört zu den eiweißspaltenden, den proteolytischen Enzymen. Es findet sich im Magensafte, seine Wirkung

äußert sich vor allem darin, daß es die Eiweißkörper peptonisiert, wobei sie löslich werden. Auch hier handelt es sich um einen Abbau hochmolekularer Verbindungen, der eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Abbau des Stärkemoleküls besitzt, aber naturgemäß zu ganz anderen Abbauprodukten führt.

Auch im Pflanzenorganismus finden sich proteolytische Enzyme, und sie haben hier eine ganz ähnliche Rolle zu erfüllen, wie die kohlehydratspaltenden Enzyme. Während diese die Lösung der Stärke und ihren Transport besorgen, obliegt den proteolytischen Enzymen die Spaltung und der Transport der Eiweißstoffe, die ebenfalls einen wichtigen und wesentlichen Bestandteil aller Pflanzen bilden. Auch in der Gerste, beziehungsweise im Malz konnte ein solches Enzym nachgewiesen werden, es wird als „Malzpeptase" bezeichnet. In der ruhenden Gerste sind nur ganz geringe Mengen dieses Enzymes vorhanden. Sobald jedoch die Keimung beginnt, nimmt seine Menge, ebenso wie jene der Diastase, rasch zu.

Auch die Wirkung der proteolytischen Enzyme wird von der Temperatur beeinflußt. Höhere Temperaturen wirken beschleunigend, doch geht dann der Abbau des Eiweißmoleküls nicht so weit, wie bei der langsameren Einwirkung bei niederer Temperatur. Die Malzpeptase verträgt auch Erwärmung auf höhere Temperaturen, so wird sie z. B. durch das Darren zwar geschwächt, aber nicht ganz zerstört. Für den Maisch-, beziehungsweise Brauprozeß besitzt dieses Enzym natürlich hohe Bedeutung, auch für die Gärung ist es direkt wichtig. Denn die Hefe benötigt als Nahrung nicht bloß stickstofffreie, sondern auch stickstoffhaltige Substanz, die ihr zum Teil durch die Wirkung der proteolytischen Enzyme vorgebildet und zugänglich gemacht wird.

Trypsin.

Das Trypsin ist das Enzym der Bauchspeicheldrüse der höheren Tiere, es ist aber auch für die Proteolyse in den Pflanzen höchst wichtig. Vom Pepsin unterscheidet sich das Trypsin in mehrfacher Beziehung. Es bewirkt eine weit vollkommenere Spaltung der Eiweißkörper, die es bis zu kristallisierenden Verbindungen (Amidokörper) verändert, und ist so-

wohl in alkalischer wie neutraler oder schwach saurer Lösung wirksam, während Pepsin nur in saurer Lösung tätig zu sein vermag. Die Anfangsstadien des Eiweißabbaues sind bei den Enzymen allerdings so ziemlich die gleichen, doch geht, wie erwähnt, die Wirkung des Trypsins viel weiter, bis zur vollständigen Zersetzung der Eiweißkörper. Beide Enzyme unterstützen sich im tierischen Organismus dadurch, daß das Pepsin in saurer, das Trypsin dagegen in alkalischer Lösung wirkt.

Endotryptase.

Ein Enzym, welches vom gärungstechnischen Standpunkte wichtig ist, ist die in der Hefe vorhandene Endotryptase, auch Hefenpeptase oder Endotrypsin genannt. Dieses Enzym bewirkt die sogenannte „Selbstverdauung“ der Hefe, von der schon auf S. 58 die Rede war. Es äußert seine Wirkung aber auch im Hefenpreßsafte, den wir bei Erörterung der eigentlichen, die Gärungserscheinungen veranlassenden Enzyme noch ausführlich besprechen werden. Läßt man solchen Hefepreßsaft stehen, so nimmt sein Vermögen, Zucker zu spalten, rasch ab, gleichzeitig vermindert sich auch die Menge der durch Erwärmen koagulierbaren Stoffe. Dies ist auf die sehr starke, proteolytische Wirkung dieses Enzymes zurückzuführen.

Man benutzt dieses Enzym, beziehungsweise seine Wirkung auch zur Herstellung von Nährpräparaten aus der Hefe, wovon noch an einer anderen Stelle die Rede sein wird.

Lipasen.

Die Lipasen vermögen Fette zu spalten. Die Fette sind Verbindungen der höheren Fettsäuren mit Glyzerin, durch die Wirkung der Lipasen werden sie in Glyzerin und Fettsäuren zerlegt, es vollzieht sich also genau jener Vorgang, den die „Verseifung“ der Fette mit Alkali bewirkt, nur mit dem Unterschiede, daß dort Salze der Fettsäuren, von den Lipasen dagegen die freien Fettsäuren abgeschieden werden.

Die fettspaltenden Enzyme spielen im Organismus der Tiere und Pflanzen natürlich eine sehr bedeutsame Rolle, hervorzuheben ist, daß ihre Gegenwart auch in der Hefe

nachgewiesen werden konnte. Wahrscheinlich verursachen sie das Auftreten von Glyzerin unter den Gärungsprodukten.

Der Nachweis von Lipasen in der Hefe durch Laxa ist deshalb besonders interessant, weil Delbrück ihre Gegenwart vorausgesagt hatte. Denn nach Delbrück enthalten alle Organismen Enzyme, die jene Stoffe, die sie bilden, zu spalten vermögen. Weil nun die Hefe erhebliche Mengen Fett zu bilden und in den Zellen aufzuspeichern vermag, war auch die Anwesenheit fettspaltender Enzyme anzunehmen, was bestätigt wurde.

Die Lipasen besitzen jedoch auch eine ziemlich hervorragende revertierende Wirkung (siehe S. 175), derart, daß sie nicht nur die Fette zu spalten, sondern aus den Spaltungsprodukten wieder Fette aufzubauen vermögen. Die synthetische Wirkung braucht dabei jedoch nicht wieder bis zu den Fetten fortzuschreiten, sondern es können auch einfachere Verbindungen zwischen Fettsäuren und anderen Alkoholen, z. B. den stets bei der Gärung auftretendem Amylalkohol, sogenannte Ester, gebildet werden. Diese zeichnen sich meist durch einen angenehmen, an Früchte erinnernden Geruch aus. Wahrscheinlich ist somit auf die Lipasen die Esterbildung, durch welche sich die sogenannten Fruchtätherhefen (siehe S. 112) auszeichnen, zurückzuführen.

Oxydasen.

Die Wirkung der „Oxydasen" genannten Enzyme äußert sich darin, daß sie Sauerstoff zu übertragen und dadurch Oxydationsvorgänge zu veranlassen vermögen. Solche Oxydationsvorgänge spielen sich nun im Tier- wie im Pflanzenreiche unausgesetzt ab, der Atmungsvorgang ist ein Oxydationsprozeß, desgleichen natürlich auch die Atmung der lebenden Pflanzen und ihrer ruhenden Organe, wie der Samen, der Knollen usf. In vielen Fällen konnten auch Oxydasen nachgewiesen werden und auch in der Hefe ist ihre Anwesenheit durch J. Grüß ermittelt worden. Auch bei der Essiggärung, die in chemischer Beziehung eine Sauerstoffübertragung ist, dürften die Oxydasen eine bedeutsame Rolle spielen. Wir werden darauf noch zu sprechen kommen.

Zymasen.

Die bisher besprochenen Enzyme, die zum großen Teil schon lange Zeit bekannt sind, bewirken zwar mannigfache Spaltungen wohl charakterisierter Körpergruppen, doch immer nur in Verbindungen, die zu diesen Körpergruppen in nahen chemischen Beziehungen stehen. So sind die durch die kohlehydratspaltenden Enzyme abgeschiedenen Körper wieder Kohlehydrate, die Spaltungsprodukte der Eiweißkörper durch die proteolytischen Enzyme lassen sich deutlich als Abbauprodukte der Eiweißkörper erkennen, sie sind wie diese stickstoffhaltig usf. Auch die Lipasen zerlegen die Fette nur in ihre Bestandteile, die sich leicht wieder zu den ursprünglichen Verbindungen vereinigen lassen, ja zum Teil besorgen dies die zur Gruppe der Lipasen gehörenden Enzyme selbst.

Weit eingehender ist aber die Spaltung, welche der Zucker bei der Gärung erfährt. Hier treten Produkte auf — Alkohol und Kohlensäure — welche zwar ebenfalls aus den Kohlehydraten hervorgegangen sind, die aber mit diesen keine Ähnlichkeit mehr besitzen. Da es gelungen war, so viele andere Erscheinungen auf die Tätigkeit von Enzymen zurückzuführen, lag der Gedanke nahe, auch hier eine Enzymwirkung vorauszusetzen — allerdings blieben die Versuche, dieses Enzym zu isolieren, lange vergebens.

Erst im Jahre 1897 gelang Buchner der Nachweis, daß auch die Gärung, d. h. die Zerlegung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure auf die Tätigkeit eines Enzymes zurückzuführen ist, und diese wichtige Entdeckung brachte neues Licht in unsere Anschauungen über die Gärung, ja sie war berufen, den Streit, der lange Zeit zwischen der rein chemischen und der vitalistischen Auffassung geherrscht hatte, endgiltig zu schlichten.

Zur Darstellung des in der Hefe enthaltenen, die Gärungserscheinungen hervorrufenden Enzymes verfuhr Buchner derart, daß die Hefe zerrieben, dadurch getötet und hierauf abgepreßt wird. Der Preßsaft enthält dann das Enzym, welches die eigentliche Gärwirkung verursacht. Zu diesem Zwecke verfuhr er nach der Darstellung in dem Werke „Die Zymasegärung“ von Eduard und Hans Buchner und M. Hahn folgendermaßen:

Das Verfahren zerfällt in 5 Abschnitte:

1. Waschen der Brauereihefe.
2. Entwässern der gewaschenen Hefe.
3. Mischen mit Quarzsand und Kieselgur.
4. Zerreiben unter Zerreißung der Zellmembranen.
5. Auspressen der erhaltenen teigförmigen Masse.

Das Wichtigste an dem ganzen Verfahren ist das Zerreiben unter Zusatz von Quarzsand; Glaspulver eignet sich wegen seiner Wirkung als schwaches Alkali hierzu weniger. Dadurch werden die Zellen geöffnet und der Zellsaft in Freiheit gesetzt. Aber es resultiert eine schleimige, zähflüssige Masse, aus welcher Flüssigkeit durch Auspressen kaum isoliert werden kann; starker Druck würde nur zum Zerreißen des Preßtuches führen. Erst durch den Zusatz der Kieselgur erhält das Produkt seine eigentümlich plastische Beschaffenheit. Die Kieselgur saugt in ihrem feinen Gerüstbau mit ungeheurer Oberfläche den halbflüssigen Zellinhalt auf; unter starkem Druck wird das Gerüst dann zusammengedrückt und der flüssige Teil des Zellinhaltes tritt als Preßsaft hervor, während die festen Bestandteile auf der Oberfäche der Kieselgur kleben bleiben; Kieselgur dient also dabei als eine Art von Filter.

Die Anwendung einer hydraulischen Presse und sehr hohen Druckes ist zur Darstellung von wirksamen Preßsaft nicht unbedingt erforderlich; aber gute Ausbeuten und viel Zymase enthaltender Saft sind nur mit jenem mechanischen Hilfsmittel zu erreichen.

Im einzelnen gestalten sich die Arbeiten wie folgt. Die aus der Brauerei bezogene Hefe wird zunächst gewaschen; man bringt dieselbe auf ein Haarsieb und schwemmt sie mittels aufgegossenen Wassers durch das Sieb hindurch in hohe Gefäße (25 Liter Inhalt) mit Wasser; ein großer Teil der Hopfenbestandteile bleibt schon hier auf dem Sieb zurück und wird entfernt. Nachdem sich die Hefe zu Boden gesetzt hat, hebert man das darüber stehende Wasser ab. Dieser ganze Waschprozeß wird zwei- bis dreimal wiederholt, bis das Waschwasser klar und farblos bleibt. Schließlich koliert man die Hefe durch ein Nesseltuch auf einem Filtrierrahmen. Der

ganze Waschprozeß dauert für 2 Kilogramm Hefe 1 Stunde. Zweckmäßig kann man das Waschen der Hefe auch unter Anlehnung an ein Verfahren von Hagenmüller in der Weise bewerkstelligen, daß die Hefe wie oben durch ein Sieb in Wasser eingetragen und dann auf den Boden des großen Gefäßes mittels eines langen Schlauches Wasser unter Druck geleitet wird. Das schließlich oben über den Rand des Gefäßes abfließende Wasser nimmt die Verunreinigungen und auch einen großen Teil der toten und der „wilden“ Hefezellen mit, die im Gegensatz zu den „Kulturhefen“ meistens kleineren Rassen angehören.

Die gewaschene Hefe muß sodann möglichst entwässert werden, wozu man sie am besten in ein beutelförmig gefaltetes und oben zusammengebundenes Koliertuch und hierauf noch in ein Preßtuch (näheres über dieses siehe unten) einschlägt und in der hydraulischen Presse schließlich einem 5 Minuten anhaltenden Druck von 50 Atmosphären unterwirft. Es resultiert dabei ein Hefekuchen von etwa 70 Prozent Wassergehalt (bestimmt durch Erhitzen bis zur Gewichtskonstanz bei 105°), der im Bruch noch gelbbraun und stark durchscheinend und nur in den äußersten Schichten bereits von weißer Farbe, dem Anzeichen höherer Trockenheit, erscheint.

Die entwässerte Hefe wird hierauf in einer großen Schale mit feinem Quarzsand, der durch ein Sieb von 200 Maschen auf 1 Quadratzentimeter hindurchgegangen ist, und mit Kieselgur oder Infusorienerde im Verhältnisse von

1000	Gramm	entwässerte Hefe,
1000	„	Quarzsand,
200 bis 300	„	Kieselgur

mit den Händen tüchtig gemengt und durch ein großes Sieb (9 Maschen auf 1 Quadratzentimeter) geschlagen. Zur Anwendung kam weiße, geschlämmte, gemahlene und kalzinierte Infusorienerde von Dr. L. Grote, Uelzen (Bez. Hannover). Beim Zerreiben von Münchener Unterhefe genügte ein Zusatz von 200 Gramm; bei Verwendung von Berliner Unterhefe erwies sich meistens ein Zusatz von 300 Gramm Kieselgur als vorteilhafter, um die gewünschte Konsistenz der zerriebenen

Masse zu erzielen. Zur Zerreibung kommt das staubtrockene, fast weiße Pulver hierauf in Portionen von 300 bis 400 Gramm in eine große Porzellanreibschale von 40 Zentimeter Durchmesser; dieselbe ist durch eine Holzfassung mit dem Tische fest verbunden; das Porzellanpistill geht in eine 1 bis 2 Meter lange Eisenstange über (Gesamtgewicht 8 Kilogramm), die durch die Öse eines an der Wand des Arbeitsraumes federnd befestigten Eisenbandes geführt wird, wie eine solche Vorrichtung in Apotheken vielfach üblich ist. Öse und Eisenstange sind da, wo sie sich berühren, mit Leder überzogen.

Beim Zerreiben ändert sich die Farbe des Pulvers bald in graubraun; die Masse beginnt sich zusammenzuballen und nimmt ein feuchtes Aussehen an. Durch die scharfen Quarzsplitter sind die Hefezellen zerrissen worden und haben ihren halbfesten Inhalt entleert; die Flüssigkeit wird sofort von der äußerst voluminösen Kieselgur aufgesaugt; hierdurch resultiert die eigentümlich plastische, nicht klebrige Beschaffenheit des erhaltenen Teiges, welche das darauffolgende Auspressen gestattet. Es muß so lange zerrieben werden, bis die teigförmige Masse sich von selbst zusammenballt und von der Wandung der Reibschale ablöst, was für eine Portion von 300 bis 400 Gramm des Gemenges $2^1/_2$ bis 3 Minuten dauert. Anfang wurde die Zerreibung mit Hilfe einer besonderen Zerreibungsmaschine bewerkstelligt, die im wesentlichen aus einer horizontal rotierenden Porzellanreibschale von 15 Zentimeter besteht, in der ein beliebig beschwertes Pistill sich fortwährend geradlinig hin und her bewegt; als Triebkraft diente ein Gasmotor von 1 Pferdestärke. Es hat sich später herausgestellt, daß die oben beschriebene Handzerreibungsvorrichtung schneller und vollständiger zum Ziel führt.

Da der Erfolg des ganzen Verfahrens von der möglichst vollständigen Zertrümmerung der Hefezellen abhängt, ist eine mikroskopische Kontrolle sehr wünschenswert. Eine ungenügende Zerreibung dürfte durch Zerdrücken von Hefezellen beim Auspressen kaum vollständig ausgeglichen werden können. Über die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung der zerriebenen Masse soll später bei Beschreibung des rückständigen Preßkuchens näheres mitgeteilt werden.

Hefe nur mit Kieselgur, also ohne Quarzsandzusatz, zu zerreiben, ist natürlich auch möglich. Ein Versuch ergab aber, daß dann wesentlich mehr Zeit bis zur Vollendung nötig ist. 500 Gramm entwässerte Hefe wurden mit 500 Gramm Kieselgur in 4 Portionen zerrieben, bis die Masse weich geworden und bei der mikroskopischen Untersuchung fast alle Zellen zerrissen waren. Die Dauer der Zerreibung betrug aber für die 500 Gramm Hefe $1^1/_3$ Stunden oder ungefähr 6mal so viel, als bei der gewöhnlichen Methode unter Quarzsandzusatz; die Ausbeute an Saft erreichte nur 160 Kubikzentimeter, statt der sonst üblichen 220 bis 250 Kubikzentimeter; die Gärkraft des erhaltenen Preßsaftes war jedoch gut.

Zum Zwecke des Auspressens wird die teigförmige Masse, entsprechend 1 Kilogramm Hefe, nunmehr in ein starkes baumwollenes, nicht appretiertes Preßtuch eingeschlagen, wie solches als wasserdichtes Segeltuch zur Überdeckung von Zelten Anwendung findet; dieses Preßtuch wird vor dem Gebrauch mit kaltem Wasser durch Einweichen gründlich durchtränkt und hernach in der hydraulischen Presse bei 50 Atmosphären Druck von dem Überschusse an Wasser befreit; in dem für 1 Kilogramm Hefe benötigten Preßtuch (60 × 74 Zentimeter) bleiben noch 30 bis 40 Gramm Wasser zurück.

Als Presse bedient man sich am besten einer hydraulischen Handpresse, wie eine solche z. B. von der Maschinenfabrik von Brinck & Hübner in Mannheim geliefert wird; dieselbe besitzt zwei Spindeln, eine vertikale, die durch ein Kurbelrad angezogen wird, und eine horizontale, welche durch eine einfache Handkurbel in den Glyzerinbehälter hineingedreht werden kann. In den Glyzerinbehälter taucht ferner der Kolben, auf welchem die Preßplatte lose aufsitzt.

Die auszupressende Masse wird in das Tuch eingeschlagen, auf die Preßplatte gelegt, mit einem vielfach durchlochten Preßkorb aus verzinntem Stahlblech umgeben und darauf die vertikale Spindel durch möglichstes Anziehen des Handrades angepreßt, wodurch der Druck einer gewöhnlichen Spindelpresse erreicht wird; sodann setzt man auch die horizontale Spindel durch Drehen der Kurbel in Tätigkeit, was erst den Hauptdruck ergibt; der erzielte Atmosphärendruck

gelangt am Manometer zur Ablesung; man steigert denselben langsam, damit das Preßtuch nicht reißt, von 5 zu 5 Atmosphären und erhält ihn durch öfteres Nachziehen der Kurbel und auch des Handrades konstant. Der auf das Quadratzentimeter ausgeübte Druck (sogenannte spezifischer Druck) resultiert aus dem erreichten Atmosphärendruck und aus dem Größenverhältnis zwischen Preßplatte, respektive Querschnitt des Preßkorbes und dem Querschnitt des Kolbens, auf welchem die Preßplatte aufliegt. Die im Münchener hygienischen Institut verwendete Presse besitzt eine kreisrunde Preßplatte von 16 Zentimeter Durchmesser oder 200 Quadratzentimeter Flächeninhalt, während der durch die hydraulische Presse entgegengedrückte Preßkolben 6·8 Zentimeter Durchmesser und 36 Quadratzentimeter Flächeninhalt des Querschnittes aufweist. Bei einem Druck von 500 Atmosphären wurden also im ganzen 18.000 Kilogramm Druck oder auf 1 Quadratzentimeter 90 Kilogramm Druck erzeugt. Da sich später herausstellte, daß die Presse, wie alle derartigen, nur für einen Druck von 300 Atmosphären gebaut ist und beim Überschreiten dieser Grenze ein Bersten des Glyzeringefäßes eintreten könnte, kam in Berlin ein etwas größeres Modell derselben Firma zur Aufstellung, welches bei gleichem Durchmesser der Preßplatte aber einen Preßkolben von 8·8 Zentimeter Durchmesser oder einen Querschnitt von 60 Quadratzentimeter aufweist und daher schon bei der Spannung von 300 Atmosphären 18.000 Kilogramm Gesamtdruck und rund 90 Kilogramm auf 1 Quadratzentimeter ergibt.

Nachdem die zerriebene Hefe einmal ausgepreßt ist, was aus 1 Kilogramm 320 bis 460 Kubikzentimeter Preßsaft ergibt, wird dieselbe, um eine gute Ausbeute zu erzielen, nochmals in der großen Reibschale zerrieben, wobei früher Zusatz von Wasser (bis zu 140 Kubikzentimeter auf 1000 Gramm Hefe) erfolgte; dieser Wasserzusatz hat sich als unnötig erwiesen und unterbleibt seit längerer Zeit vollständig. Die zweimal zerriebene Hefe kommt nun abermals in die Presse bei einem Druck von 90 Kilogramm auf 1 Quadratzentimeter.

Der abfließende Preßsaft tropft direkt aus der Presse auf ein gewöhnliches Faltenfilter und fließt durch dieses in

ein in Eiswasser stehendes Gefäß. Als Gesamtausbeute wurden früher aus 1 Kilogramm Hefe unter Zusatz von 140 Kubikzentimeter Wasser regelmäßig 500 Kubikzentimeter Preßsaft erhalten; jetzt schwanken die Ausbeuten für 1 Kilogramm Hefe ohne jeden Wasserzusatz (nur aus dem befeuchteten Preßtuch können 20 bis 30 Kubikzentimeter Wasser stammen) für gewöhnlich zwischen 450 und 500 Kubikzentimeter.

Diese Ausbeute ist sehr erheblich; da von 1000 Gramm Hefengewicht mindestens 200 Gramm auf die unlöslichen Zellmembranen entfallen, entspricht sie etwa 60 Prozent des gesamten Zellinhaltes. Dabei dauert die ganze Operation unter Anwendung der Handzerreibungsvorrichtung von Beginn des Zerreibens an für 1 Kilogramm Hefe bei einiger Übung nur 3 Stunden, wovon auf das erste Zerreiben $1/2$ Stunde entfällt.

Allerdings ist auch dann der Zymasegehalt der Zellen durchaus noch nicht vollständig in den Preßsaft übergegangen und der rückständige Preßkuchen enthält noch sehr erhebliche Mengen des Enzyms; einerseits sind die Zellen noch nicht alle vollständig zertrümmert, anderseits haftet auf der ungeheuren Oberfläche der Kieselgur ein beträchtlicher Teil des Zellinhaltes als schleimiger Überzug. Man kann demnach durch wiederholtes Zerreiben und Auspressen, besonders bei abermaligem Zusatz von Wasser, noch sehr wirksame Preßsäfte erzielen. In einem Falle wurde z. B. ohne Wasserzusatz ein drittesmal zerrieben und aus 1 Kilogramm Hefe nochmals 75 Kubikzentimeter Preßsaft von guter Gärwirkung erhalten, im ganzen aus 1 Kilogramm Hefe (unter Zusatz von 35 Kubikzentimeter Wasser schon vor dem zweiten Zerreiben) 575 Kubikzentimeter Preßsaft; ein andermal lieferten 1 Kilogramm Hefe nach dem zweiten Zerreiben bei Zusatz von 30 Kubikzentimeter Wasser im ganzen 500 Kubikzentimeter Preßsaft, und nach noch zweimaligem Zerreiben unter Zusatz von 25 Kubikzentimeter Wasser abermals 110 Kubikzentimeter sehr wirksamen Saft. In einem weiteren Falle betrug die Ausbeute nach fünfmaligem Zerreiben unter allmählicher Zugabe von 200 Kubikzentimeter Wasser aus 1000 Gramm Hefe 695 Kubikzentimeter Preßsaft von gutem Gärvermögen. Eine Erschöpfung des Preßkuchens war auch dann noch nicht eingetreten.

Über das Schicksal der Hefezellen beim Zerreiben und Auspressen gibt eine mikroskopische Untersuchung Aufschluß, welche Herr Dr. Will, Abteilungsvorsteher an der wissenschaftlichen Station für Brauerei zu München, ausgeführt hat; seine Angaben darüber seien hier in Form einer Tabelle zusammengestellt.

	Gesamtzahl der gezählten Zellen	Intakte Zellen	Übergangsstadien	Alterierte Zellen	Leere Zellhäute
		Prozent			
Nach der ersten Zerreibung (zwei Proben untersucht) .	229	31	—	31	38
Nach der ersten Zerreibung und ersten Auspressung .	111	21	Zusammen 40		39
Nach der zweiten Zerreibung und der ersten Auspressung	437	4	13	26	57

Unter „Übergangsstadien“ sind Zellen zu verstehen, die infolge von Seitenpressung ihre Vakuolen verloren haben. Die Zahl der leeren Häute kann oft nicht mit Sicherheit festgestellt werden, da dieselben zu dichten Klümpchen zusammengepreßt sind, welche sich schwer verteilen lassen. In Beziehung auf die alterierten Zellen ist noch zu bemerken, daß jedenfalls schon die ursprüngliche Hefe eine gewisse Zahl derselben enthält.

Das Charakteristische des eben beschriebenen Verfahrens zur Darstellung von Preßsaft aus Hefe besteht in der Zerreibung der Hefezellen, das unter Sandzusatz in jeder Reibschale mit der Hand, wie die mikroskopische Kontrolle ergibt, leicht ausgeführt werden kann. Ohne vorhergehendes Zerreiben ist ein Auspressen der Hefe unter Zerreißen der Zellhäute selbst bei Anwendung einer hydraulischen Presse nicht möglich. Anderseits läßt sich aus fein zerriebener Hefe auch bei geringem Druck ein gärkräftiger Saft, wenn gleich mit schlechter Ausbeute, erzielen. Im allgemeinen wird man aber das Arbeiten

mit hohem Druck schon deshalb bevorzugen müssen, weil gewaltsames Hineinpressen von Quarzsplittern in die Hefezellen das Zerreißen beim Zerreißungsprozeß noch unverletzt gebliebener Zellen und insbesondere auch eine Zertrümmerung der schleimigen sogenannten Plasmahaut, welche in älteren Zellen häufig einen vollständigen Innenbelag der Zellhaut bildet, herbeiführt. C. J. Martin und Chapman haben durch raschestes Zentrifugieren von zerriebener Bierhefe einen Saft ohne Gärwirkung ausgeschleudert; wahrscheinlich war der Zerreibungsvorgang noch nicht genügend durchgeführt; in solchen Fällen ist dann die Anwendung einer hydraulischen Presse jedenfalls vorzuziehen.

Hefe für sich, ohne Sandzusatz, kann bei gewöhnlicher Temperatur nicht zerrieben werden. Dagegen gelingt es ziemlich leicht bei niederer Temperatur. Die ersten derartigen Versuche wurden ausgeführt, indem die Hefe in einer Reibschale unter flüssiger Luft zerrieben wurde. Nachdem aber die Befürchtung auftauchte, daß Explosionen dabei nicht ausgeschlossen seien, da durch Verdunsten des Stickstoffes an der Luft allmählich flüssiger Sauerstoff zurückbleibt, wurde feste Kohlensäure zur Anwendung gebracht.

Z. B. wurden 500 Gramm Berliner Unterhefe S (bei 50 Atmosphären entwässert) $^1/_2$ Stunde lang in einer Reibschale zerrieben mit 500 Gramm Kohlendioxydschnee. Die anfangs steinhart gefrorene Masse wird allmählich weich und dünnflüssig. Nach $^1/_2$ Stunde kräftiger Arbeit wurde durch ein gehärtetes Filter abgesaugt, wodurch auch die in der Flüssigkeit gelöste Kohlensäure zugleich größtenteils entfernt wurde. Die Ausbeute nach $1^1/_2$stündigem Absaugen betrug nur 100 Kubikzentimeter eines im durchfallenden Licht ziemlich klaren, im auffallenden Licht aber grauen und undurchsichtigen Saftes, der beim Erhitzen stark koagulierte. Die Gärkraftbestimmung, in gewöhnlicher Weise in zwei Parallelversuchen ausgeführt, ergab eine recht gute Gärwirkung. Wegen der ungenügenden Ausbeute wurde das Verfahren aber vorläufig nicht weiter verwendet.

Eine eigentümliche Methode zur Zertrümmerung der Hefezellen haben A. Macfadyen, G. H. Morris und S.

Rowland angewandt; durch eine mechanische Vorrichtung wurde die Hefe zusammen mit zugefügtem Silbersand in einen Zustand heftiger Bewegung versetzt, „so daß durch die schnell aufeinanderfolgenden Zusammenstöße der Hefe- und Sandteilchen die Zellwandungen zerrissen wurden und der Zellinhalt heraustrat". „Die mikroskopische Prüfung der Masse am Schlusse des Prozesses ließ keine unversehrten Zellen mehr erkennen." Während der Operation wurde das Material durch Zirkulierenlassen einer Salzsoole von — 5° abgekühlt, da sonst infolge der mechanischen Wärmeproduktion durch das Zusammenstoßen und die Reibung der Substanzteilchen aneinander die Temperatur der Masse sich „bis nahe zum Siedepunkt" erheben würde. Dieses Verfahren wird sich erst vollständig beurteilen lassen, wenn die mechanische Vorrichtung beschrieben ist. Da die von Macfadyen und seinen Mitarbeitern erhaltenen Hefesäfte meistenteils nur geringe Gärwirkung aufwiesen und die Ausbeute an Saft bei viel größerem Zeitaufwand (100 Gramm Hefe lieferten nach 3½ Stunden nur 35 Kubikzentimeter Saft) eine geringere ist, so scheint es der oben beschriebenen Methode zur Darstellung von Hefepreßsaft keineswegs überlegen zu sein.

Ohne Zertrümmerung der Hefezellen, also lediglich durch energische Plasmolyse, läßt sich auch zymasehaltiger Zellsaft aus Hefe gewinnen. So beschreibt C. J. Lintner eine Anzahl von Versuchen, bei welchen Hefe mit festen Salzen gemischt wurde; es entsteht dabei ein dünnflüssiger Brei, welcher nach kurzem eine bedeutende Volumzunahme und Selbstgärung erlitt. Dann hat M. Hahn teigartige Hefe mit Chloroform behandelt, wobei sich die Masse verflüssigt und aufschäumt. Ähnliche Verfahren sind ferner in neuerer Zeit behufs Gewinnung von Surrogaten für Liebigschen Fleischextrakt angewandt worden. De Meulmeestre versetzt Hefe mit gepulvertem Gummi arabicum, v. Laer mischt sie mit mindestens 2 Prozent Kochsalz. In beiden Fällen geht die Hefe nach kurzer Zeit, offenbar unter Austritt von Zellsaft aus dem Innern, in eine halbflüssige Masse über, die nach kurzer Zeit in Selbstgärung gerät.

Alle diese Beobachtungen sind nur in folgender Weise

zu erklären. In den Hefezellen finden sich gewöhnlich geringe Mengen von Glykogen, die infolge der pathologischen Veränderung der Zellen nun plötzlich mit bisher örtlich davon getrennter Zymase in Berührung kommen. Zum Teil mag sich dieser Vorgang auch erst außerhalb der Zellen vollziehen. Wenigstens läßt sich nachweisen, daß der aus unverletzten Hefezellen (Berliner Unterhefe S) nach einem ähnlichen Verfahren von Hans Buchner und Max Gruber durch Behandeln mit Äther gewonnene Saft etwas Zymase enthält. In zwei Versuchen wurden 500 Gramm Hefe (bei 50 Atmosphären abgepreßt und durch ein Sieb getrieben) 15 Minuten lang in einer Stöpselflasche mit 200, beziehungsweise 250 Kubikzentimeter Äther tüchtig geschüttelt. Die Hefe zerfließt und die schließlich ganz dünnflüssige Masse wurde durch ein gehärtetes Filter abgesaugt.

Der nach dem beschriebenen Verfahren gewonnene, nur durch Papier filtrierte, frische Hefepreßsaft stellt eine ziemlich dickliche, im durchfallenden Licht fast klare Flüssigkeit von gelber bis bräunlichgelber Farbe und starkem Geruch und Geschmack nach Hefe vor. Im auffallenden Licht erscheint der Saft grau und undurchsichtig, d. h. er zeigt also die Eigenschaft des Opalisierens, wie sie z. B. auch konzentrierteren Eiweißlösungen häufig zukommt und welche durch die Anwesenheit von ziemlich viel Kieselgur, die durch das Preßtuch und das Filtrierpapier hindurchgegangen ist, verstärkt wird. Wróblewski hat die Gegenwart von Kieselsäure im Saft direkt nachgewiesen. Als zur Kontrolle 500 Gramm Kieselgur mit 500 Gramm Wasser $1/2$ Stunde zerrieben wurden, bis die Masse teigförmig war, ließen sich bei 300 Atmosphären 100 Kubikzentimeter einer trüben, gelblichen Flüssigkeit auspressen, welche offenbar zahlreiche Splitter der Infusorienerde suspendiert enthielt.

Der frische Hefepreßsaft aus Berliner Unterhefe reagiert schwach sauer; dabei ist nicht etwa die Anwesenheit von gelöster Kohlensäure Ursache dieser Reaktion, denn dieselbe ändert sich nicht, wenn der Preßsaft im Vakuum auf das halbe Volumen eingedampft wird. Ebenso reagiert Saft aus Münchener Unterhefe sauer. Nach Angabe von F. B.

Ahrens soll dagegen frischer Hefepreßsaft schwach alkalisch reagieren; es scheint demnach die Reaktion mit der Herkunft der Hefe oder wahrscheinlicher mit der Beschaffenheit der Kieselgur zu variieren.

Versetzt man Hefesaft mit starker Kalilauge, so tritt eine voluminöse Fällung ein, die fast bis zum Erstarren der ganzen Masse führen kann; es scheiden sich dabei offenbar die Eiweißstoffe in Form von Alkalialbuminat aus. Ähnliche Erscheinungen zeigt der Saft auf Zufügen von Mineral- oder von Essigsäure.

Beim schwachen Erwärmen des frischen Saftes macht sich schon unterhalb 35° Aufsteigen von Glasbläschen, nachweislich Kohlendioxyd, bemerklich, mit welchem die Flüssigkeit demnach gesättigt ist. Diese Kohlensäure dürfte ihre Anwesenheit einem schon während der Herstellung des Saftes beginnenden Vorgang verdanken, welchen man als Selbstgärung bezeichnen kann.

Bei stärkerem Erwärmen des Hefepreßsaftes tritt dann bei 35 bis 40° die Bildung von unlöslichen Flocken ein, deren Menge sich mit gesteigerter Temperatur weiter vermehrt. Bei ein paar qualitativen Versuchen wurde Preßsaft eine Stunde lang auf 40 bis 50° erhitzt; das unter mehrmaligem Zurückgießen auf ein Papierfilter erhaltene klare Filtrat zeigte dann gegenüber Rohrzucker in einem Falle noch schwache Gärkraft, im anderen jedoch nicht mehr. Es ist nicht entschieden, ob es sich dabei um ein Ausfällen, beziehungsweise ein Mitniederreißen der wirksamen Substanz durch die gerinnenden Eiweißstoffe oder um die schädigende, durch die erhöhte Temperatur sehr beschleunigte Wirkung der Endotryptase im Preßsaft auf die Zymase, also um den Vorgang der sogenannten Selbstverdauung handelt.

Wird die Temperatur des Hefepreßsaftes noch weiter erhöht, bis zu langsamem Aufkochen, so gerinnt die ganze Masse so vollständig, daß das Reagensrohr meist ohne Flüssigkeitsverlust umgestürzt werden kann.

Diese Versuche beweisen, daß sich in Hefezellen gerinnbares Eiweiß, wie z. B. in den tierischen Organen, vorfindet.

In solchem, auf die angegebene Weise nach Buchner

dargestellten Hefepreßsafte sind mithin Stoffe enthalten, welche die Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure besorgen. Man könnte allerdings die Einwendung erheben, daß die nach Zusatz von solchem Preßsafte zu Zuckerlösungen auftretende typische Gärung nur darauf zurückzuführen ist, daß im Safte unveränderte lebende Hefezellen zurückblieben, die sich der Beobachtung entzogen und auch nicht durch das Filtrieren zurückgehalten werden. Dieser Einwand wird aber dadurch widerlegt, daß man den Saft mit antiseptischen Stoffen versetzen kann, die lebende Hefe unter allen Umständen töten würden, ohne seine Wirkung zu verändern. Solche Stoffe sind beispielsweise Chloroform, Tymol und Toluol, dagegen wird seine Wirkung durch eiweißfällende Verbindungen, die auch die Tätigkeit anderer Enzyme aufheben, wie Salze schwerer Metalle, besonders Quecksilberchlorid (Sublimat) vernichtet. Auch durch Filtrieren durch sogenannte Chamberlandsche Kerzen, die aus porösem Porzellan bestehen und durch die unzweifelhaft alle Hefezellen zurückgehalten werden, wird der Preßsaft nicht unwirksam, wenn er auch einen Teil seiner Wirksamkeit dabei verliert. Endlich ist es möglich, durch Fällen mit Alkoholäther oder Azeton das im Preßsafte enthaltene Enzym niederzuschlagen. Nach dem Trocknen erhält man ein amorphes, haltbares Pulver, das selbst nach sehr langer Zeit in Wasser verteilt, wieder die Gärungserscheinungen hervorzurufen vermag.

Dieses Verhalten hat auch dazu geführt, ein weiteres Verfahren zur Darstellung des gärenden Prinzips der Hefezellen, und zwar ohne Druck und ohne sie zu zerreiben, auszumitteln. Dieses von R. Albert angegebene Verfahren besteht darin, daß man die Hefe mit Alkoholäther oder besser mit Azeton behandelt und dadurch die Zellen tötet. Man erhält dann ein Pulver, welches keine lebende Hefezelle mehr enthält, jedoch ganz die gleichen Wirkungen äußert, wie der durch Zerreiben und Auspressen dargestellte Saft.

Solche Azetondauerhefe oder Zymin wird folgendermaßen hergestellt: Die Hefe wird zuerst teilweise entwässert und darauf etwa eine Viertelstunde im zehnfachen Volumen Azeton untergetaucht. Dann wird sie auf Filtrierpapier ge-

trocknet, in Äther gewaschen und bei 45° neuerdings getrocknet. Man erhält so ein weißes Pulver, welches nur tote, aber nicht geöffnete Zellen enthält und in Zuckerlösung fast sofort Gärung hervorruft.

Dieses Verfahren ist auch dadurch interessant, weil es nicht möglich ist, aus normal abgestorbener Hefe einen gärfähigen Saft zu gewinnen. Wohl gelingt dies aber dann, wenn man, wie angegeben, die Hefe durch Azeton tötet. Dann wird gleichzeitig das in den Zellen enthaltene Enzym konserviert.

Der Buchnersche Preßsaft oder solche Dauerhefe enthält nun jenes Enzym oder vielmehr jene Enzyme, welche die Zerlegung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure besorgen. Versetzt man solchen Saft mit Rohrzucker, so entsteht alsbald lebhafte Kohlensäureentwicklung, die mehrere Tage anhalten kann, gleichzeitig wird Alkohol gebildet. Der Verlauf dieser Erscheinung hängt jedoch sehr von der Konzentration ab, je mehr Rohrzucker bis zu einer gewissen Grenze vorhanden ist, desto größer ist die Gärwirkung des Saftes, am größten ist sie bei einem Gehalte von 20 bis 30 Prozent Rohrzucker. Bei einem geringeren Zuckergehalt nimmt die Gärwirkung rasch, ebenso, allerdings langsamer, bei höheren Konzentrationen ab. Auch die Temperatur nimmt Einfluß, die Gärwirkung ist bei niedereren, beziehungsweise mittleren Temperaturen am stärksten. Bemerkenswert ist, daß die Zymase — im Gegensatz zu anderen Enzymen — schon bei verhältnismäßig niederen Temperaturen zerstört wird, in wässeriger Lösung wird sie schon durch Erwärmen auf 41° gänzlich unwirksam.

Wie wir bei Besprechung der Produkte der alkoholischen Gärung zeigen werden, sind diese höchst mannigfach. Es war nun interessant, zu untersuchen, wie sich nach dieser Richtung die durch die Zymase, beziehungsweise durch den Hefepreßsaft hervorgerufene Gärung verhält.

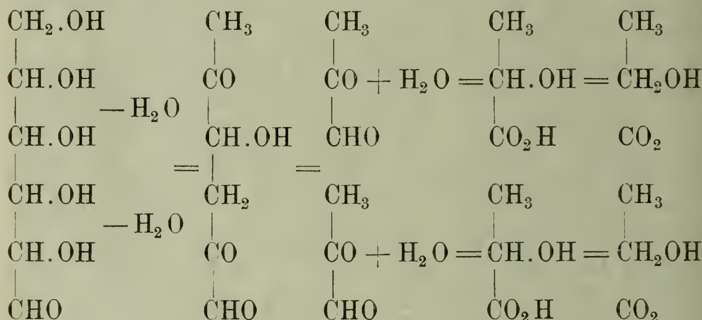
Zunächst sei bemerkt, daß neben Alkohol und Kohlensäure stets auch — ebenso wie bei der Gärung durch lebende Zellen — Glyzerin auftritt, dagegen konnte Bernsteinsäure und Fuselöl nicht wahrgenommen werden. Essigsäure wird

stets gebildet, ebenso Milchsäure. Stets wurde jedoch beobachtet, daß bei der zellenfreien Gärung mehr Zucker verbraucht wird, als den wiedergefundenen Gärungsprodukten entspricht. Da die Umwandlung in flüchtige, nicht bestimmbare Verbindungen ausgeschlossen war, mußte sich das Umwandlungsprodukt in der vergorenen Flüssigkeit selbst finden. Dies gelang auch durch den Nachweis, daß stets auch ein Fehlingsche Lösung nicht reduzierendes Polysaccharid gebildet wird, welches durch die Reversionskraft des Enzymes (siehe S. 175) entsteht.

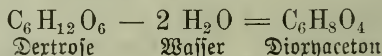
Schon die Tatsache, daß der Hefepreßsaft Rohrzucker vergärt, weist darauf hin, daß er nicht nur ein zuckerspaltendes, sondern auch ein invertierendes Enzym enthält und dies führt — bestätigt von anderweitigen Beobachtungen — zu dem Schlusse, daß wir überhaupt die Anwesenheit verschiedener Enzyme im Preßsafte annehmen müssen. Außer vom Invertin und dem eigentlichen, den Zucker in Kohlensäure und Alkohol zerlegendem Enzyme, gilt dies besonders von der Hefenpeptase. Unter Umständen äußert diese ihre Wirkung jedoch auf die Zymase selbst und greift sie an, wodurch selbstverständlich die Gärkraft des Preßsaftes rasch abnimmt, umgekehrt kann man die Gärwirkung, d. h. die Zymase, durch Zusatz solcher Stoffe konservieren, die von der Peptase verändert werden. Dies sind vor allem Albumin und Peptone. Sind diese in ausreichender Menge vorhanden, so äußert an ihnen die Peptase ihre spaltende Wirkung und die Zymase wird nicht angegriffen, während im anderen Falle das Umgekehrte eintritt. Ähnliche Erscheinungen können wir aber auch an der lebenden Hefe, die sich im Hungerzustande befindet, beobachten. Auch hier nimmt die Gärkraft rasch ab und endlich tritt die „Selbstverdauung" ein.

Auf das Auftreten von Milchsäure bei Vergärung des Zuckers durch Preßsaft wurde schon oben hingewiesen. Buchner und Meisenheimer machten jedoch die Wahrnehmung, daß unter Umständen bei der Gärung auch absichtlich zugesetzte Milchsäure verschwinden kann. Dieses Verhalten macht es noch wahrscheinlicher, daß die Zymase gar kein einheitliches Enzym ist, sondern daß die eigentlichen Gärungserscheinungen durch

das Zusammenwirken von zwei Enzymen verursacht werden. Das eine dieser Enzyme spaltet den Zucker in Milchsäure, das andere diese erst in Alkohol und Kohlensäure. Das die Milchsäure erzeugende Enzym benennt *Buchner Zymase* oder *Hefenzymase*, das sie in Alkohol und Kohlensäure zerlegende *Laktacidase*. Er nimmt nun des weiteren die Milchsäure als vorübergehend auftretendes Zwischenprodukt der alkoholischen Gärung an und gelangt zu der folgenden Darstellung des Gärungsvorganges, wobei sich aus dem Zucker zunächst ein Zwischenprodukt (Dioxyaceton), dann Methylglyoxal und endlich Milchsäure bildet, die schließlich in Alkohol und Kohlensäure zerfällt.



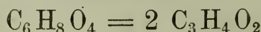
In einfachen Formeln dargestellt, verläuft demnach der Gärungsvorgang folgendermaßen:



$$C_6H_{12}O_6 - 2\ H_2O = C_6H_8O_4$$

Dextrose Wasser Dioxyaceton

zerfällt in 2 Moleküle Methylglyoxal:



$$C_6H_8O_4 = 2\ C_3H_4O_2$$

2 Moleküle Methylglyoxal plus 2 Wasser geben 2 Moleküle Milchsäure:



$$2\ C_3H_4O_2 + 2\ H_2O = 2\ C_3H_6O_3$$

2 Moleküle Milchsäure zerfallen in 2 Moleküle Alkohol und 2 Moleküle Kohlensäure:



$$2\ C_3H_6O_3 = 2\ C_2H_6O + 2\ CO_2$$

Sieht man von der endlich stattfindenden Zerlegung der Milchsäure in Alkohol und Kohlensäure ab, so äußert demnach die Hefe zunächst die gleiche Wirkung, wie die Milchsäurebakterien. Dies könnte dahin gedeutet werden, daß die Milchsäurebakterien wohl das Enzym Hefenzymase, nicht aber Laktacidase enthalten.

Durch diese Entdeckung Buchners ist, wie schon erwähnt, endgiltig der Streit über die eigentliche Ursache der alkoholischen Gärung beendet worden. Wir wissen heute mit vollster Sicherheit, daß es sich auch hier nur um einen chemischen Vorgang handelt, der durch Enzyme hervorgerufen wird. Dies entspricht der rein chemischen Auffassung der Gärungserscheinungen durch Liebig. Anderseits hat aber auch die vitalistische Auffassung Pasteurs, daß zur Gärung die Mitwirkung von Mikroorganismen unerläßlich ist, recht behalten, weil die Hefe einzig und allein imstande ist, Zymase oder das Gemenge der die alkoholische Gärung hervorrufenden Enzyme zu erzeugen. Wohl sind wir nun imstande, die Gärung ohne Anwesenheit von Hefezellen durchzuführen, die Gewinnung der Enzyme kann jedoch stets nur mit Hilfe und aus der Hefe geschehen — so lange es nicht gelingt, auch Enzyme ganz auf künstlichem Wege darzustellen, wozu gegenwärtig allerdings wenig Aussicht vorhanden ist. Somit haben eigentlich beide Forscher, Liebig und Pasteur, recht behalten. Ohne Hefe gibt es zwar eine Gärung, jedoch keine Zymase, und wir können sagen: die Gärung ist ein rein chemischer Vorgang, bei dem jedoch das die Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure besorgende Agens von der Hefezelle produziert und in ihrem Protoplasma aufgespeichert wird, jedoch auch außerhalb desselben zur Wirkung gelangen kann.

3. Die Produkte der alkoholischen Gärung.

Die Hauptprodukte der alkoholischen Gärung sind Alkohol und Kohlensäure, neben diesen entstehen aber stets noch zahlreiche andere Stoffe, von denen wir einige ebenfalls schon genannt haben. So ist Glyzerin, Bernsteinsäure, Milchsäure

stets in vergorenen Flüssigkeiten wahrzunehmen. Mit dieser Aufzählung ist jedoch die Zahl der bei der alkoholischen Gärung sich bildenden Stoffe noch lange nicht erschöpft. Vielmehr entsteht eine ziemlich ansehnliche Anzahl von Verbindungen, die zum Teil auch technische Wichtigkeit besitzen, wir nennen vor allem jene Stoffe, die in ihrer Gesamtheit als „Fuselöl" bezeichnet werden. Auch das „Fuselöl" besteht jedoch aus einer Reihe von Stoffen, die allerdings untereinander große Verwandtschaft und Ähnlichkeit zeigen.

Schon Pasteur hat nachgewiesen, daß bei der alkoholischen Gärung 100 Gewichtsteile Dextrose

46·16 Gewichtsteile Alkohol,
44·15 " Kohlensäure,
4·10 " Glyzerin und Bernsteinsäure,
1·55 " Hefe

liefern, während 100 Teile Rohrzucker (Saccharose) geben:

51·01 Gewichtsteile Alkohol,
49·12 " Kohlensäure,
4·31 " Glyzerin und Bernsteinsäure.

Außerdem entstehen aus rund 5 Prozent des Zuckers, der bei der Gärung verschwindet, noch andere Stoffe. Als Produkte der alkoholischen Gärung im weitesten Sinne des Wortes sind bisher nachgewiesen worden:

Alkohole.

Äthylalkohol $C_2H_5 . OH$,
Propylalkohol $C_3H_7 . OH$,
Isopropylalkohol $C_3H_7 . OH$,
Butylalkohol $C_4H_9 . OH$,
Isobutylalkohol $C_4H_9 . OH$,
Amylalkohol $C_5H_{11} . OH$,
Isoamylalkohol $C_5H_{11} . OH$,
λ-Amylalkohol $C_5H_{11} . OH$,
Hexylalkohol $C_6H_{13} . OH$,
Heptylalkohol $C_7H_{15} . OH$,
Glyzerin $C_3H_5 (OH)_3$.

Säuren.

Kohlensäure CO_2,
Ameisensäure $H . COOH$,
Essigsäure $CH_3 . COOH$,
Buttersäure $C_3 H_7 . COOH$,
Kapronsäure $C_5 H_{11} . COOH$,
Kaprylsäure $C_7 H_{15} . COOH$,
Pelargonsäure $C_8 H_{17} . COOH$,
Kaprinsäure $C_9 H_{19} . COOH$,
Milchsäure $C_2 H_{50} . COOH$,
Bernsteinsäure $C_2 H_4 (COOH)_2$.

Aldehyde.

Azetaldehyd $CH_3 . CHO$,
Furfurol $C_4 H_3 O . CHO$.

Sonstige Verbindungen.

Azetal $C_2 H_4 (O . C_2 H_5)_2$,
Isobutylenglykol $C_2 H_6 . C . OH . CH_2 . OH$,
Terpen $C_{10} H_{16}$,
Terpenhydrat $C_{10} H_{18} O$,
Mannit $C_6 H_{14} O_6$.

Die Mengenverhältnisse, in denen sich diese Stoffe in den Gärungsprodukten vorfinden, sind jedoch durchaus nicht gleich. Ganz abgesehen von Nebengärungen, hat darauf unbedingt die Rasse der Hefe großen Einfluß, ferner die Temperatur, bei der die Gärung verläuft, das Alter der Hefe, die Zusammensetzung der gärenden Flüssigkeit und der Ernährungszustand der Hefe, also eine große Reihe von Faktoren, die es erklären, daß die Angaben über die Natur und die Menge dieser Gärungserzeugnisse ziemlich bedeutenden Schwankungen unterliegen. Dazu kommt noch, daß es nach mancher Richtung zweifelhaft ist, welche dieser Stoffe wirklich als eigentliche Gärungsprodukte anzusehen sind und welche nur Stoffwechselprodukte der Hefe oder gar Zersetzungsprodukte sind. Buchners Versuche mit Hefepreßsaft haben allerdings nach dieser Richtung viele wichtige und wertvolle Aufschlüsse gebracht, ganz gelöst sind diese Fragen aber noch lange nicht.

Wir wollen nun die wichtigsten Gärungsprodukte besprechen.

Der Äthylalkohol.

Bei der alkoholischen Gärung bildet sich eine Reihe chemischer Verbindungen, die alle zur Gruppe der „Alkohole" gehören. Wie ein Blick auf die oben gegebene Zusammenstellung der Gärungserzeugnisse, denen auch die chemischen Formeln beigefügt sind, lehrt, bilden diese Alkohole eine ansteigende Reihe, wobei sich das folgende Glied vom vorhergehenden stets durch ein Mehr von 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atomen Wasserstoff unterscheidet. Die „höheren Alkohole" bilden das Fuselöl, das wichtigste bei der Gärung entstehende Produkt ist jedoch der Äthylalkohol oder Weingeist.

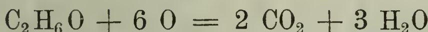
Im ganz reinen, wasserfreien Zustande bildet der Alkohol eine wasserhelle, leicht bewegliche Flüssigkeit, die brennend-süß schmeckt, sie ist mit Wasser in jedem Verhältnisse mischbar. Das spezifische Gewicht des „absoluten" Alkohols beträgt bei 15° C 0·79425. Wird Alkohol mit Wasser gemengt, so erwärmt sich die Mischung, wobei sich gleichzeitig das Volumen verringert. Mischungen von Alkohol mit Wasser besitzen ein höheres spezifisches Gewicht als der reine Alkohol, und zwar ist das spezifische Gewicht stets einem bestimmten Alkoholgehalte proportional. Durch Ermittlung des spezifischen Gewichtes kann daher der Alkoholgehalt einer Mischung von Alkohol und Wasser („Spiritus") bestimmt werden, doch muß, um genaue Zahlen zu erhalten, stets dabei die Temperatur berücksichtigt werden.

Reiner, absoluter Alkohol siedet bei 78·3° C, je mehr Wasser dem Alkohol beigemengt ist, desto höher liegt sein Siedepunkt. Auch diese Erscheinung kann zur Ermittlung des Alkoholgehaltes einer Flüssigkeit dienen, dazu werden besondere Apparate, die „Vaporimeter", benutzt. Allerdings sind ihre Angaben lange nicht so genau, wie die Ermittlung aus dem spezifischen Gewichte.

Werden Mischungen von Alkohol und Wasser bis zur Dampfbildung erhitzt (destilliert), so gehen zunächst Dämpfe über, die einen höheren Alkoholgehalt besitzen, als das Ge-

menge. Auf diesem Verhalten gründet sich die Reinigung und Konzentrierung des Alkohols in den Destillier- und Rektifizierapparaten. In der gleichen Weise gelingt es auch, den Alkohol von den höher siedenden, bei der Gärung entstehenden Verbindungen, die ebenfalls flüchtig sind (Fuselöl), zu trennen.

Alkohol ist brennbar und verbrennt mit blaßblauer, kaum leuchtender Flamme glatt zu Kohlensäure und Wasser

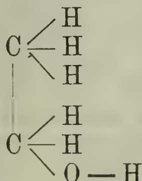


$$C_2H_6O + 6\ O = 2\ CO_2 + 3\ H_2O$$

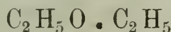
Alkohol Sauerstoff Kohlensäure Wasser

Durch oxydierende Einflüsse wird er in Essigsäure übergeführt, wovon noch bei Besprechung der Essiggärung die Rede sein wird, durch Reduktion, d. h. durch Entziehung von Wasserstoff geht er in Aldehyd, eine eigentümlich riechende Verbindung, über.

Alkohol ist sehr reaktionsfähig. Das sogenannte typische Wasserstoffatom, welches, wie die Konstitutionsformel



zeigt, nur mit Sauerstoff verbunden ist, kann durch Metalle oder auch durch andere organische Radikale ersetzt werden, es entstehen dadurch die mannigfachsten Verbindungen mit oft wichtigen Eigenschaften. Treten z. B. zwei Alkoholradikale nach dem Schema

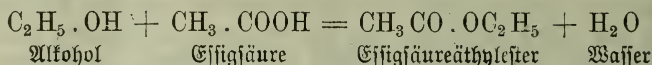


$$C_2H_5O \cdot C_2H_5$$

miteinander in Verbindung, so entsteht der gewöhnliche Äthyläther, meist kurzweg „Äther", nach der alten Auffassung wohl auch noch „Schwefeläther" genannt.

Tritt an Stelle dieses Wasserstoffatomes eine organische Säure, so entstehen die „zusammengesetzten Äther" oder „Ester", die meist angenehmen aromatischen, an Früchte erinnernden Geruch besitzen. So vereinigen sich beispielsweise

Äthylalkohol und Essigsäure nach dem folgenden Schema zu Essigsäureäthylester:



$$C_2H_5.OH + CH_3.COOH = CH_3CO.OC_2H_5 + H_2O$$

Alkohol Essigsäure Essigsäureäthylester Wasser

Alkohol ist im konzentrierten Zustande ein Gift für alle höheren Lebewesen, in mäßiger Menge genossen wirkt er jedoch anregend. Darauf ist die Wirkung der alkoholischen Getränke zurückzuführen, deren Gebrauch wohl fast so alt ist, wie die Gattung Mensch überhaupt. Freilich ist nicht zu verkennen, daß auch verhältnismäßig geringe Mengen Alkohol, regelmäßig genossen, schließlich zu Vergiftungserscheinungen und überhaupt zu nachteiligen Wirkungen im Organismus führen können, doch ist dann wohl ein gut Teil der ungünstigen Wirkung auch auf Rechnung der großen Flüssigkeitsmenge zurückzuführen, deren Verarbeitung dem Organismus zugemutet wird. Dies tritt z. B. bei gewohnheitsmäßigen Vertilgern abnorm großer Biermengen regelmäßig ein (Bierherz). In geringen Mengen mäßig genossen übernimmt dagegen der Alkohol, wie neuere Forschungen unzweifelhaft dargetan haben, die Rolle eines Nahrungsmittels, er wird im Organismus verbrannt und verhält sich dann ebenso wie die Kohlehydrate der Nahrung. Allerdings trifft dies im allgemeinen nur bei gut ernährten, kräftigen Individuen zu. Doch bleibt immer die Tatsache bestehen, daß der Alkohol die Verdauung günstig beeinflußt und überhaupt auf das Nervensystem anregend wirkt. Er gehört somit ebenso zu den Genußmitteln des modernen Kulturmenschen, wie Kaffee und Tee, die, in zu großen Mengen konsumiert, ebenfalls nachteilig sind. Der „Kampf gegen den Alkohol", der in den letzten Jahren modern geworden ist, ist daher nur dort am Platze, wo es sich um Vertilgung großer Mengen handelt. Dort wirkt der Alkohol unbedingt im höchsten Grade nachteilig. Damit ist aber noch lange nicht gesagt, daß er überhaupt ein Gift für den Organismus ist. So lange uns die Geschichte einen Rückblick gestattet, haben alle Kulturvölker den Alkohol gekannt und in den verschiedensten Formen genossen. Wenn er wirklich so nachteilig wirken und vor allem zur Degeneration

führen würde, dann müßte dies in den Jahrtausenden, die wir die Geschichte des Menschen zurückverfolgen können, wohl schon so gründlich der Fall gewesen sein, daß vom „homo sapiens" kaum mehr viel übrig sein könnte.

Höhere Alkohole (Fuselöl).

Außer Äthylalkohol entstehen bei der Gärung auch noch sogenannte höhere Alkohole, die sich durch ihre Eigenschaften von dem Äthylalkohol wesentlich unterscheiden. Wie ein Blick auf die Zusammenstellung S. 202 lehrt, bilden die Alkohole eine Reihe, in der sich jedes Glied vom vorhergehenden durch ein Mehr um 1 Atom Kohlenstoff und 2 Atome Wasserstoff unterscheidet. Wir finden jedoch in dieser Zusammenstellung auch Verbindungen, welche die gleiche Formel besitzen, als Beispiele seien der Propylalkohol und der Isopropylalkohol, der Butylalkohol und der Isobutyalkohol angeführt. Die beiden ersten besitzen die Formel C_3H_7OH, die beiden an zweiter Stelle genannten die Formel C_4H_9OH. Daß trotzdem diese Verbindungen nicht identisch sind, geht schon daraus hervor, daß ihre Siedepunkte und spezifischen Gewichte verschieden sind. Sie betragen:

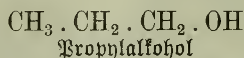
	Siedepunkt Grad C	Spezifisches Gewicht bei 15° C
Propylalkohol . .	97·4	0·8066
Isopropylalkohol .	82·1	0·7903
Butylalkohol . . .	117·0	0·8129
Isobutylalkohol . .	108·4	0·8003

Ähnlich verhält sich der Amylalkohol, der Isoamylalkohol und der λ-Amylalkohol, alle drei Verbindungen haben die Formel $C_5H_{11}OH$, jedoch betragen die Siedepunkte und spezifischen Gewichte:

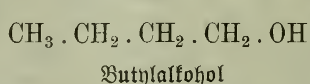
	Siedepunkt Grad C	Spezifisches Gewicht bei 15° C
Amylalkohol . . .	137·0	0·8172
Isoamylalkohol . .	131·1	0·9135
λ-Amylalkohol . .	128·7	0·8330

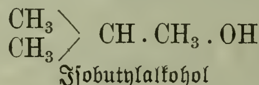
Die Ursache dieser Verschiedenheiten trotz gleicher Zusammensetzung liegt in der abweichenden Konstitution, d. h.

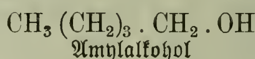
in der Anordnung der Atomgruppen. Man nennt solche Verbindungen „isomer", die Zahl der möglichen Isomeren nimmt mit steigender Anzahl von Kohlenstoffatomen zu. Die folgenden Strukturformeln geben über die Konstitution der erwähnten isomeren Alkohole Aufschluß.

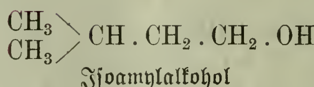


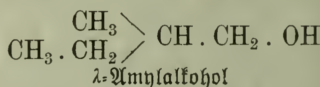












Diese höheren Alkohole entstehen ebenfalls als normale Gärungsprodukte, lassen sich jedoch durch Rektifikation von dem Äthylalkohol trennen. Trotzdem ihre Siedepunkte zum Teil beträchtlich höher liegen als der des Wassers, sind sie mit Wasserdämpfen flüchtig. Ein Gemisch dieser höheren Alkohole besitzt überhaupt keinen konstanten Siedepunkt, sondern es beginnt bei ungefähr 80° zu sieden, in dem Maße, als die niedrig siedenden Anteile überdestillieren, steigt der Siedepunkt langsam bis auf 130 bis 140° an.

Diese Alkohole werden als Fuselöl bezeichnet. Sein Hauptbestandteil ist der Amylalkohol, der einen eigentümlich aromatischen, jedoch zum Husten reizenden Geruch besitzt. Auch dem Spiritus teilen sich diese Eigenschaften mit, wenn er erhebliche Mengen Fuselöl enthält, seine Menge beträgt im Rohsprit etwa 0·1 bis 0·4 Prozent. Anderseits sind die Fuselöle jedoch auch jene Stoffe, die gewissen Branntweinsorten erst das spezifische und charakteristische Aroma verleihen, besonders der Tresterbranntwein und der Kognak sind hier zu nennen.

Fuselöl, beziehungsweise Amylalkohol wird zu vielen Zwecken in der Industrie benutzt. Er dient als Lösungsmittel

für Fette und Öle, zur Herstellung von Essigsäureamyläther (Amylazetat), das in der Fabrikation der rauchschwachen Sprengstoffe eine große Rolle spielt, zur Darstellung vieler Fruchtäther, die Verbindungen (Ester) von Amylalkohol mit organischen Säuren sind usf.

Die sich bei der Rektifikation des Rohsprits ergebenden „Fuselöle" enthalten jedoch nicht nur die erwähnten höheren Alkohole, sondern auch einige andere Verbindungen, wie Azetal, Furfurol, Ester usf. Maercker führt die folgenden Verbindungen als die wichtigsten Nebenerzeugnisse der Gärung an:

Name	Siedepunkt Grad C
Isopropylalkohol	82·1
Propylalkohol	97·4
Butylalkohol	117·0
Isobutylalkohol	108·4
Isoamylalkohol	131·1
Optisch-aktiver Amylalkohol	128·7
Azetal	102·9
Furfurol, Äthyl- und Amyläther der flüchtigen Fettsäuren . . . zirka	162·0

Die Herkunft und Entstehung der Fuselöle ist schon wiederholt Gegenstand eingehender Forschungen gewesen. So haben die Arbeiten von Raymann und Kruis gezeigt, daß Fuselöle namentlich bei höheren Temperaturen und unter Luftabschluß entstehen. Besonders reichliche Mengen von Amylalkohol wurden bei Zusatz von Biertrebern, die mit Schwefelsäure behandelt worden waren, zur Nährflüssigkeit erhalten. Den eigentlichen Anlaß zur Entstehung der Fuselöle scheinen jedoch Spaltungsprodukte des Eiweißes zu bilden, und zwar Leucin und Isoleucin. Wurde eine Lösung von Rohrzucker mit Reinhefe vergoren, so bildeten sich nur Spuren von Fuselöl, dagegen entstanden größere Mengen, wenn Leucin zugesetzt wurde. Das Leucin ist nun stets in den Rohstoffen der Brennerei und in den Zersetzungsprodukten der Hefe enthalten, daher ist die Möglichkeit, daß Fuselöle entstehen, fast immer gegeben.

Immerhin wechselt die Menge und auch die Zusammensetzung der Fuselöle ziemlich stark, natürlich wird sie auch durch die Art ihrer Abscheidung beeinflußt. Kruis und Raymann haben beispielsweise die folgende Zusammensetzung eines Kartoffelfuselöles ermittelt:

	Promille
Äthylalkohol	48·88
Normaler Propylalkohol .	0·85
Isobutylalkohol	4·19
Amylalkohol	942·42
Hexylalkohol	0·19
Kaprylsäureäthylester . .	0·26
Kaprylsäureamylester . .	1·00
Kaprinsäureamylester . .	0·66
Rückstand	1·45

Wie groß übrigens die Unterschiede in der Zusammensetzung der Fuselöle, je nach dem verarbeiteten Rohmateriale, sind, zeigen die von K. Windisch in den „Arbeiten aus dem kaiserlichen Gesundheitsamte“ 1892 veröffentlichten Untersuchungen. Er untersuchte u. a. Kartoffelfuselöl und Kornfuselöl und fand in 1 Kilogramm der von Wasser und Äthylalkohol befreiten Substanz folgende Mengen:

Kartoffelfuselöl.	Gramm
Normalpropylalkohol	68·54
Isobutylalkohol	243·50
Amylalkohol	687·60
Freie Fettsäuren	0·11
Fettsäureester	0·20
Furfurol und Basen	0·05

In 100 Teilen der freien Säuren und Estersäuren sind enthalten:

	Teile
Kaprinsäure	36
Pelargonsäure	12
Kaprylsäure	32
Kapronsäure	14
Buttersäure	0·5
Essigsäure	3·5

Kornfuselöl.

	Gramm
Normalpropylalkohol	36·90
Isobutylalkohol	157·60
Amylalkohol	758·50
Hexylalkohol	1·33
Freie Fettsäuren	1·60
Fettsäureester	3·05
Terpen	0·33
Terpenhydrat	0·48
Furfurol, Basen u. Heptylalkohol	0·21

Es enthalten 100 Gewichtsteile der freien Fettsäuren:

	Gewichtsteile
Kaprinsäure	44·1
Pelargonsäure	12·9
Kaprylsäure	26·7
Kapronsäure	13·2
Buttersäure	0·4
Essigsäure	2·7

und in 100 Gewichtsteilen der Ester der Fettsäuren sind enthalten:

	Gewichtsteile
Kaprinsäureester	40·7
Polargonsäureester	14·2
Kaprylsäureester	34·8
Kapronsäureester	9·6
Buttersäureester	0·4
Essigsäureester	0·3

Es sei nochmals betont, daß die Bezeichnung „Fuselöl“ durchaus keinen einheitlich zusammengepreßten Körper bedeutet, sondern — wie die eben mitgeteilten Zahlen zeigen — ein Gemenge zahlreicher Verbindungen, von denen manche untereinander zwar eine gewisse Ähnlichkeit besitzen, wie die der Alkoholreihe angehörenden, dagegen andere sich ganz abweichend verhalten. Zu diesen zählen beispielsweise die Fettsäuren und die Fettsäureester, sowie das Terpen und Terpenhydrat. Diese beiden Verbindungen, deren Geruch selbst bei

großer Verdünnung noch sehr merkbar und eigentümlich ist, scheinen das charakteristische Aroma des Branntweines zu bedingen.

Glyzerin.

Zu den durch den Gärungsprozeß gebildeten Alkoholen gehört auch das Glyzerin, welches im chemischen Sinne ein dreiwertiger Alkohol ist, wie aus der folgenden Konstitutionsformel hervorgeht:

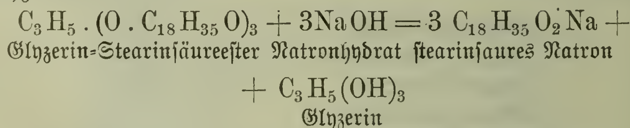


$$CH_2 . OH . CH . OH . CH_2 . OH$$

Konstitutionsformel des Glyzerins

Von den bisher besprochenen einwertigen Alkoholen unterscheidet es sich dadurch, daß es drei Hydroxylgruppen OH besitzt, in jeder derselben ist der Wasserstoff durch andere Radikale ersetzbar. Treten an Stelle dieser drei Wasserstoffatome höhere Fettsäuren, wie Stearinsäure, Palmitinsäure, Oleinsäure, so entstehen Fette, beziehungsweise, wenn die Oleinsäure vorherrscht, Öle, die im chemischen Sinne Fettsäureglyzerinester sind.

Wird ein Fett mit einem Alkali gekocht, so wird dieser Ester gespalten, es entsteht das Alkalisalz der Fettsäure und Glyzerin:



$$C_3H_5 . (O . C_{18}H_{35}O)_3 + 3NaOH = 3\ C_{18}H_{35}O_2Na +$$

Glyzerin-Stearinsäureester Natronhydrat stearinsaures Natron

$$+ C_3H_5(OH)_3$$

Glyzerin

Die Alkalisalze der Fettsäuren bilden die Seifen, der geschilderte Vorgang ist die Grundlage der Seifenfabrikation. Durch Behandlung der fettsauren Alkalien mit Schwefelsäure können daraus die freien Fettsäuren abgeschieden werden.

Die Fähigkeit, Fette im Sinne dieser Reaktion zu spalten, besitzen jedoch nicht nur die Alkalien, sondern auch gewisse Enzyme, die Lipasen, deren Eigenschaften schon auf S. 183 besprochen wurden. Sie sind nicht nur im tierischen Organismus, sondern auch in den Pflanzen und den Samen gewisser Pflanzenarten in größerer Menge enthalten, so daß auch schon ihre praktische Verwendung in der Seifenindustrie angeregt

worden ist. Auch die Hefe enthält fettspaltende Enzyme und es ist nicht unwahrscheinlich, daß das Auftreten des Glyzerins unter den Gärungsprodukten auf ihre Wirkung zurückzuführen ist. Auch die Entstehung von freien Fettsäuren, beziehungsweise die Bildung von Fettsäureestern steht wohl damit im Zusammenhang.

Das Glyzerin ist im reinen Zustande eine sirupähnliche, farb- und geruchlose, süß schmeckende Flüssigkeit, deren spezifisches Gewicht bei 20° 1·26 beträgt. Von seinem süßen Geschmack und der zähflüssigen Beschaffenheit ist auch der Name „Ölsüß" hergeleitet. Glyzerin mischt sich mit Wasser und Alkohol in jedem Verhältnisse und vermag im konzentrierten Zustande reichlich Wasser aus der Luft anzuziehen. Mit Wasserdämpfen ist es flüchtig, unter vermindertem Druck kann es ohne Zersetzung destilliert werden.

Die Menge, in welcher Glyzerin bei der Gärung entsteht, unterliegt großen Schwankungen. Wie Untersuchungen von Wortmann und Laborde gezeigt haben, wird seine Entstehung nicht nur von der Zusammensetzung der Nährflüssigkeit, sondern auch vom Verlaufe der Gärung und ganz besonders von der Rasse der Hefe bestimmt. Bei höheren Gärtemperaturen und bei reichlicher Ernährung der Hefe entstehen größere Mengen, als im entgegengesetzten Falle. So entstehen bei der Gärung des Traubensaftes rund 2·5 bis zu 14 Prozent des gleichzeitig gebildeten Alkohols, bei der bei niederer Temperatur verlaufenden Gärung der Würze dagegen nur 1·65 bis 4·3 Prozent. Auch bei der Gärung durch Hefepreßsaft tritt es als regelmäßiges Gärungsprodukt auf.

Glyzerin bildet einen wichtigen Bestandteil der geistigen Getränke. Es verleiht dem Bier und ganz besonders dem Weine die angenehme Rundung und Vollmundigkeit, mildert den Geschmack und verdeckt freie Säure. Von seiner Menge hängt daher der Charakter des Weines in hohem Grade ab, besonders manche südliche Weine zeichnen sich durch einen sehr hohen Gehalt an Glyzerin aus, der allerdings mitunter nicht allein durch die Gärung entstanden ist, sondern seine Höhe einem künstlichen Zusatze verdankt.

Säuren.

Als normale Gärungsprodukte treten auch freie Säuren auf, wie die Zusammenstellung auf S. 202 zeigt. Die technisch wichtigen dieser Säuren, wie Essigsäure, Milchsäure, Buttersäure, werden wir bei Erörterung der Gärungsvorgänge, bei denen sie hauptsächlich gebildet wurden, besprechen. Hier interessieren uns vor allem zwei Gärungsprodukte, welche Säuren sind, die Bernsteinsäure und die Kohlensäure.

Bernsteinsäure.

Die Bernsteinsäure wird bei der alkoholischen Gärung in wechselnden Mengen gebildet, allem Anscheine nach nimmt die Temperatur darauf einen Einfluß, derart, daß bei höheren Temperaturen größere Mengen entstehen, doch scheint die Menge von der Beschaffenheit der Nährflüssigkeit unabhängig zu sein. Nach Pasteur entstehen aus 100 Gewichtsteilen Zucker 0·5 bis 0·7 Gewichtsteile Bernsteinsäure.

Die Bernsteinsäure ist ein Bestandteil des Bernsteinharzes und entsteht aus diesem durch trockene Destillation. Sie bildet blendend weiße, glänzende Kristalle, die schwer in kaltem, doch leicht in kochendem Wasser löslich sind. Irgendeine besondere Bedeutung für die allgemeine Beschaffenheit der Gärungserzeugnisse besitzt sie nicht.

Kohlensäure.

Die sich bei der Gärung bildende Kohlensäure ist ein Gas, welches während des ganzen Verlaufes der Gärung abgeschieden wird. Ihre Menge ist sehr bedeutend — 100 Gewichtsteile Zucker liefern theoretisch 48·9 Gewichtsteile Kohlensäure, und ein Drittel des im Zucker enthaltenen Kohlenstoffes findet sich in der Kohlensäure wieder.

Die Kohlensäure ist farblos, schmeckt angenehm säuerlich und prickelnd und ist schwerer als die Luft, 1 Liter Kohlensäure wiegt bei 0° und 760 Millimeter Druck 1·9652 Gramm. In Gärlokalen, in denen kein reger Luftwechsel herrscht, sammelt sich die Kohlensäure aus diesem Grunde an den tiefsten Stellen des Raumes an.

Trotz ihres ansehnlichen Sauerstoffgehaltes vermag die Kohlensäure Oxydationsvorgänge und somit auch den Lebensprozeß nicht zu unterhalten, weil der Sauerstoff sehr fest mit dem Kohlenstoffe verbunden ist. Überhaupt tritt uns die Kohlensäure bei den verschiedenartigsten Prozessen als Endprodukt der Umsetzung entgegen. Bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanzen tritt der Kohlenstoff als Kohlensäure wieder auf, Mensch und Tier atmen Kohlensäure aus, die im Körper durch Oxydation aus den kohlenstoffhaltigen Nahrungsmitteln entsteht, und auch die Pflanzen scheiden bei Nacht, wenn der Atmungsvorgang vorherrscht, durch die Spaltöffnungen Kohlensäure ab, während sie Sauerstoff aufnehmen. Dieser Vorgang spielt sich übrigens auch bei Tage ab, nur wird dann die Kohlensäureabscheidung durch den Assimilationsvorgang verdeckt. Auch die Atmung ruhender Organe, wie Samen, Knollen 2c. verläuft unter Abscheidung von Kohlensäure, die sich aus der Stärke durch Oxydation bildet:



$$C_6H_{10}O_5 + 12\,O = 6\,CO_2 + 5\,H_2O$$

Stärke Sauerstoff Kohlensäure Wasser

Die Kohlensäure vermag zwar, wie erwähnt, den Lebensprozeß nicht zu unterhalten, ist jedoch — zum Unterschiede von der niedereren Oxydationsstufe des Kohlenstoffes, dem Kohlenoxyd — kein Gift für den Organismus. Die Todesursache bei Verunglückungen in Kohlensäure ist einzig und allein Sauerstoffmangel, beziehungsweise Erstickung, während sich bei Kohlenoxydvergiftungen eine Verbindung von Bestandteilen des Blutes mit Kohlenoxyd bildet und das Blut verändert wird.

Kohlensäure löst sich sehr leicht in Wasser, das Wasser nimmt dann saure Reaktion an, viele Mineralwässer enthalten Kohlensäure gelöst. Unter gesteigertem Druck ist das Lösungsvermögen aller Flüssigkeiten für Kohlensäure weit größer als bei gewöhnlichem Druck, wird jedoch der Druck aufgehoben, so tritt die gelöste Kohlensäure in Form von Gasblasen wieder auf.

Alkohol vermag Kohlensäure weit leichter zu lösen als Wasser. Sie nimmt großen Einfluß auf den Geschmack ge-

gorener Getränke und viele derselben, vor allem Bier und Schaumwein, verdanken der Kohlensäure einen großen Teil ihrer geschätzten Eigenschaften. Der Charakter eines Bieres hängt geradezu von dem Kohlensäuregehalte ab und Bier, welches einen großen Teil der freien Kohlensäure verloren hat, z. B. durch langes Stehen oder durch unrichtige Behandlung, schmeckt fade, schal und leer. Die Mengen Kohlensäure, welche das Bier gelöst enthält, sind übrigens ziemlich bedeutend, als untere Grenze kann man ungefähr 1500 Kubikzentimeter pro 1 Liter annehmen, doch wechselt der Kohlensäuregehalt mit der Sorte des Bieres. Während das Lösungsvermögen der Flüssigkeiten für Kohlensäure mit dem Drucke steigt, nimmt es mit zunehmender Temperatur ab. Auch daraus geht hervor, daß das Kühlhalten des Bieres sehr viel zu seinem Wohlgeschmack beiträgt.

Ältere Weine enthalten keine oder höchstens nur mehr geringe Mengen Kohlensäure, denn durch das wiederholte Abziehen wird sie entfernt. Manche junge Weine dagegen und auch einige Weingattungen, die in sehr kühlen Kellern vergoren werden und bei denen die Nachgärung sehr lange dauert, enthalten noch ansehnliche Mengen, die ihnen ebenfalls einen eigentümlichen, prickelnden und geschätzten Geschmack — von den Franzosen „Double-ton" genannt — verleiht.

Auch das Schäumen des Champagners wird durch seinen Gehalt an Kohlensäure verursacht. Doch ist sie hier nicht das Produkt der normalen Weingärung, sondern dem fertigen Weine wird noch Zuckerlösung und etwas Hefe zugesetzt, worauf in der verkorkten Flasche abermals Gärung eintritt. Die Kohlensäure vermag dann nicht zu entweichen, sondern sie löst sich unter dem hohen Druck im Weine auf, wird aber in Freiheit gesetzt, sobald man die Flasche entkorkt. Die durch Gärung in der Flasche entwickelte Kohlensäure entweicht dann jedoch weit langsamer, als die durch Imprägnierung des Weines eingeführte — ein Verfahren, das zur Herstellung sehr billiger Schaumweinarten benutzt wird.

Die Kohlensäure kann durch entsprechenden Druck unter gleichzeitiger Abkühlung verdichtet werden. Bei 0° sind hierzu 35 Atmosphären nötig, also ein verhältnismäßig geringer

Druck. Läßt man flüssige Kohlensäure verdampfen, so bindet sie so viel Wärme, daß ein Teil der Flüssigkeit erstarrt und fest wird. Solcher „Kohlensäureschnee“ hält sich dann ziemlich lange auch bei gewöhnlicher Temperatur. Von der Eigenschaft der Kohlensäure, beim Verdampfen sehr viel Wärme zu binden, macht man in den mit flüssiger Kohlensäure betriebenen Eismaschinen Gebrauch.

Wie oben erwähnt, wird bei der alkoholischen Gärung fast die Hälfte des Zuckers in Kohlensäure übergeführt. Den Vorgang so zu ändern, daß mehr Alkohol, dagegen weniger Kohlensäure entsteht, liegt nicht in unserer Macht, dagegen wurde vorgeschlagen, die bei der Gärung entstehende Kohlensäure, welche meist ungenutzt entweicht, nutzbar zu machen. Durch die erwähnte Eigenschaft, sich leicht verflüssigen zu lassen, wäre diese Aufgabe leicht zu lösen, um so mehr, als sich bei der Gärung sehr reine Kohlensäure bildet. Gleichzeitig mit der Verflüssigung der Kohlensäure hätte auch die Abscheidung des von ihr mitgerissenen Alkohols zu erfolgen, dessen Menge, besonders bei stürmisch verlaufenden Gärungen, nicht unbedeutend ist. Nachfrage für reine Kohlensäure im flüssigen Zustande ist stets vorhanden, unter Umständen könnte daher dieses Verfahren wohl rentabel sein, doch ist nicht zu übersehen, daß die erforderliche Einrichtung, wie geschlossene Gärgefäße, Vorrichtung zur Reinigung der Kohlensäure, der Kompressor, die Stahlflaschen zur Versendung der verflüssigten Kohlensäure usf. immerhin eine ansehnliche Kapitalsaufwendung benötigen, deren Verzinsung und Amortisation durch die Mehrausbeute an Alkohol und den Erlös für die Kohlensäure gesichert sein müßte. Der Verlust an Alkohol, welcher durch das Mitreißen mit der Kohlensäure bedingt ist, wird bei einer Gärtemperatur von 30° mit 5 bis 7 Prozent angegeben.

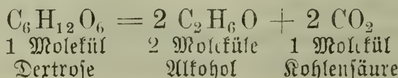
Die alkoholische Gärung verläuft nicht nur unter Bildung der eben besprochenen Produkte, sondern es macht sich gleichzeitig auch das Auftreten von Wärme geltend, die sich durch die Temperatursteigerung der gärenden Flüssigkeit äußert. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß jeder chemische Vorgang — und die Gärungserscheinungen müssen wir, wie

wiederholt erörtert wurde, als Vorgänge chemischer Natur auffassen — gleichzeitig auch unter Energieaufnahme oder Abgabe verläuft. Der Umsatz an Energie kommt durch Erwärmung oder Abkühlung der reagierenden Stoffe, beziehungsweise des Reaktionsproduktes zum Ausdrucke, demnach bezeichnet man auch Reaktionen, die unter Wärmeverbrauch verlaufen, wie z. B. die Lösung mancher Salze in Wasser, als *endotherm*, solche, die unter Austritt von Wärme sich vollziehen, als *exotherm*. Die bei solchen Vorgängen auftretende Wärme stammt jedoch stets aus den reagierenden Körpern und ihre Menge wird weder vermehrt, noch verringert. Man kann demnach jede Reaktion auch als energetischen Vorgang auffassen und durch eine Gleichung ausdrücken, wobei die Energiemenge auf jeder Seite der Gleichung gleich ist.

Den Energievorrat chemischer Verbindungen drücken wir am einfachsten durch jene Wärmemenge aus, die sie bei der vollständigen Verbrennung liefern. Als Maß dient die Kalorie, d. i. jene Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 Gramm Wasser um 1° C zu erwärmen. Diese Größe kann mit Hilfe besonderer Apparate, der Kalorimeter, sehr genau ermittelt werden, auch die Bewertung der Heizstoffe beruht auf dem gleichen Prinzip.

Wird chemisch reiner Traubenzucker (Dextrose) vollständig zu Kohlensäure und Wasser verbrannt und die gesamte dabei auftretende Wärmemenge ermittelt, so ergibt sich, daß er 3762 oder pro 1 Molekül (180 Gramm) 677 Wärmeeinheiten oder Kalorien liefert, man sagt, seine Verbrennungswärme beträgt 677·4 Kalorien.

Führt man den gleichen Versuch mit reinem, absolutem Alkohol durch, d. h. verbrennt man ihn ebenfalls zu Kohlensäure und Wasser, so findet man, daß 1 Gramm Alkohol 7054 oder pro 1 Molekül (46 Gramm) nur 324·5 Wärmeeinheiten liefert, mithin weniger als die Dextrose. Wir können die die Spaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure ausdrückende Gleichung



$$C_6H_{12}O_6 = 2\ C_2H_6O + 2\ CO_2$$

1 Molekül Dextrose — 2 Moleküle Alkohol — 1 Molekül Kohlensäure

unter Berücksichtigung der thermischen Vorgänge auch folgendermaßen schreiben:

677·9 Kalorien = 2 × 324·5 Kalorien + 28 Kalorien.

28 Wärmeeinheiten werden also bei Spaltung von je 1 Molekül Dextrose in 2 Moleküle Alkohol und 1 Molekül Kohlensäure in Freiheit gesetzt, und diese Wärmemenge ist es, welche die Temperatursteigerung gärender Flüssigkeiten bewirkt.

Wenn 1 Kilogramm Rohrzucker oder Maltose oder 1·0526 Kilogramm Dextrose vergären, so werden 146·6 Kalorien frei. Ist der Zucker als 20prozentige Lösung vorhanden, so würden sich die rund 5 Liter Flüssigkeit hierbei um 29° erwärmen. Praktisch ist die zu beobachtende Wärmemenge natürlich nicht so groß, weil stets Wärmeverluste durch Strahlung eintreten und weil auch die Kohlensäure mit Wärme beladen entweicht. Immerhin kann man praktisch in diesem Falle auf eine Temperaturerhöhung um etwa 17° rechnen.

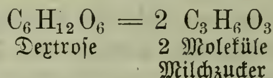
Die Erwärmung gärender Flüssigkeiten besitzt hohe Bedeutung für die Praxis. Dies geht aus dem Einflusse der Temperatur auf den Verlauf der Gärungsvorgänge überhaupt hervor, und zwar sowohl hinsichtlich der entstehenden Gärungsprodukte, als auch der Begünstigung oder Benachteiligung der Entwicklung der Mikroorganismen durch die Temperatur. Es geht auch daraus hervor, wie wichtig es ist, die Temperatur, bei welcher eine Gärung verläuft, genau zu beobachten und die günstigsten Temperaturen einzuhalten, eine Notwendigkeit, der in der Praxis je nach den Umständen durch Erwärmung oder durch Abkühlung entsprochen wird.

B. Die Milchsäuregärung.

Milchsäure tritt sowohl als normales Gärungsprodukt in geringen Mengen bei der Alkoholgärung durch Hefe, wie als Hauptprodukt bei der durch die Milchsäurebakterien verursachten Milchsäuregärung auf. Milchsäure kann sowohl aus Milchzucker, wie auch aus Saccharose, Lävulose, Galaktose, Maltose entstehen, auch Stärke und Dextrin, Raffinose,

Trehalose, Mannit, Inosit, Glyzerin ꝛc. können bei bestimmten Gärungen Milchsäure liefern.

Aus Hexosen, wie Dextrose, entsteht die Milchsäure glatt nach der Formel:



$$C_6H_{12}O_6 = 2\ C_3H_6O_3$$

Dextrose — 2 Moleküle Milchzucker

Es handelt sich mithin um eine einfache Spaltung, bei der weder Wasser aufgenommen, noch Wasser oder Kohlensäure austritt, allerdings verläuft der Vorgang nicht quantitativ im Sinne der Gleichung. Nach dieser müßten sich aus 180 Gramm Dextrose 180 Gramm Milchsäure, mithin 100 Prozent, bilden, doch ist die Ausbeute stets geringer. Dies ist darauf zurückzuführen, daß stets auch ein Teil des Zuckers von den Bakterien zum Aufbau selbst verwendet wird, während sich ein anderer Teil zu Nebenprodukten in wechselnden Mengen umbildet. Solche Nebenprodukte der Milchsäuregärung sind vor allem Essigsäure und flüchtige Fettsäuren, dann auch geringe Mengen Alkohol und Kohlensäure.

Die Spaltung des Zuckers in Milchsäure ist ebenfalls auf die Wirkung eines Enzymes, der Laktase, zurückzuführen. Wir erinnern, daß Buchner die Milchsäure auch als Zwischenprodukt der alkoholischen Gärung betrachtet und annimmt, daß auch die Hefe ein Milchzucker erzeugendes Enzym enthält. Daß die Milchsäurebakterien tatsächlich ein Enzym produzieren, welches den Zucker in der angegebenen Weise spaltet, konnte durch das Experiment bewiesen werden.

Buchner und Herzog haben gezeigt, daß sich auch aus Reinkulturen des Milchsäurebazillus das Enzym in ganz ähnlicher Weise wie aus Hefe darstellen läßt. Sie verrieben die Kultur mit Kieselgur und konnten dann durch Behandeln unter der hydraulischen Presse einen Saft gew nnen, der vollkommen frei von Bakterien war, trotzdem aber die Spaltung des Zuckers in Milchsäure besorgen konnte. Später hat dann Buchner und Meißenheimer gezeigt, daß die gleiche Erscheinung auch auf andere Weise erreicht werden kann. Sie töteten Milchsäurebazillen durch Azeton und trockneten das

Pulver, das hauptsächlich aus den Bakterien besteht. In Zuckerlösung gebracht, bewirkte es die Spaltung in Milchsäure. Das Enzym der Milchsäurebakterien verhält sich mithin ganz ähnlich jenem, das in der Hefe enthalten ist und auch durch die Behandlung mit Azeton — ohne Anwendung der hydraulischen Presse — dargestellt werden kann.

Dadurch ist also der Beweis erbracht, daß auch die Milchsäuregärung ein enzymatischer Vorgang ist, der sich, ebenso wie die alkoholische Gärung, unabhängig von den Milchsäurebakterien abspielen kann.

Die Milchsäure bildet einen dicken, nicht kristallisierenden, hygroskopischen, mit Wasser, Alkohol und Äther in jedem Verhältnisse mischbaren Sirup, welcher langsam festes Milchsäureanhydrid abscheidet. Sie schmeckt rein und angenehm sauer (Geschmack der sauren Milch) und bildet mit Kalk und Zink Salze, die ebenso wie das Eisensalz zu medizinischen Zwecken verwendet werden. Das Zinksalz ist — im Gegensatz zu den anderen Salzen der Milchsäure — verhältnismäßig schwer in Wasser löslich.

Die Milchsäure ist in der Natur weit verbreitet, so ist Milchsäure im Magensafte der höheren Tiere und in der Muskelflüssigkeit enthalten, wo sie sich besonders bei reger Muskeltätigkeit in größeren Mengen ansammelt und aller Wahrscheinlichkeit nach das Ermüdungsphänomen bedingt. Die durch Gärung entstehende und die Milchsäure der Muskelflüssigkeit (Fleischmilchsäure) sind jedoch nicht identisch. Sie besitzen zwar die gleiche allgemeine Zusammensetzung, doch verschiedene Konstitutionsformeln. Physikalisch unterscheiden sie sich dadurch, daß die „Gärungsmilchsäure“ optisch inaktiv ist, während die „Fleischmilchsäure“ sich im Polarisationsapparate als rechtsdrehend erweist. Durch Enzyme, welche gewisse Buttersäurebakterien produzieren, werden Milchsäure, beziehungsweise milchsaure Salze in Buttersäure übergeführt, ein Vorgang, der unter Abscheidung von Kohlensäure und Wasserstoff verläuft.

Die durch die Milchsäuregärung entstehende Milchsäure ist, sobald ihre Menge eine gewisse Grenze erreicht, nachteilig für die Entwicklung der Bakterien. Soll daher eine Milch-

säuregärung bis zu Ende geführt werden, so muß man die auftretende Milchsäure in das unschädliche Kalksalz überführen, was durch Zusatz von Kreide geschieht.

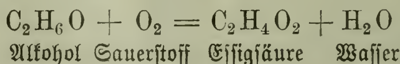
Darauf, daß sich nicht alle Milchsäurebakterien gleich verhalten und daß sie auch verschiedene Ansprüche an das Nährmaterial stellen, derart, daß nicht alle die gleichen Kohlehydrate zu vergären vermögen, wurde schon verwiesen. In Milchsäurefabriken muß daher stets die zu verwendende Bakterienart dem zu verarbeitenden Rohmateriale entsprechen.

C. Die Essiggärung.

Auch die Essiggärung stellt sich spontan verhältnismäßig leicht ein. Man braucht nur alkoholhaltige Flüssigkeiten, wie Wein oder Bier, bei niederer Temperatur unter ungehindertem Luftzutritte sich selbst zu überlassen, so siedeln sich alsbald an der Oberfläche Essigbakterien an, welche den Alkohol in Essigsäure umwandeln.

Dieser Vorgang weicht jedoch in mehr als einer Hinsicht von den gewöhnlich unter dem Begriffe „Gärung" verstandenen Erscheinungen ab. Während es sich bei der Umwandlung des Zuckers in Alkohol oder in Milchsäure um Spaltungsvorgänge handelt, ist die Essiggärung ein Vorgang, der unter Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft verläuft. Darauf ist es auch zurückzuführen, daß sich die Essigbakterien an der Oberfläche der Flüssigkeit ansammeln, weil sie ohne Luft nicht zu leben, beziehungsweise nicht Essigsäure zu bilden vermögen.

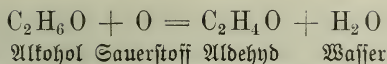
Wie erwähnt, wird der Alkohol durch Sauerstoffaufnahme in Essigsäure umgewandelt. Wir können diesen Vorgang durch die folgende Gleichung ausdrücken:



$$C_2H_6O + O_2 = C_2H_4O_2 + H_2O$$

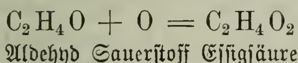
Alkohol Sauerstoff Essigsäure Wasser

Der Vorgang verläuft jedoch nicht glatt nach dieser Formel, sondern es entsteht zunächst aus dem Alkohol durch Aufnahme eines Atoms Sauerstoff ein Zwischenprodukt, der Aldehyd, der dann unter weiterer Sauerstoffaufnahme in Essigsäure übergeht:



$$C_2H_6O + O = C_2H_4O + H_2O$$

Alkohol Sauerstoff Aldehyd Wasser

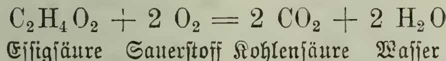


$$C_2H_4O + O = C_2H_4O_2$$

Aldehyd Sauerstoff Essigsäure

Dies kommt bei der Darstellung des Gärungsessigs praktisch darin zum Ausdruck, daß die Oxydation des Alkohols zu Essigsäure nicht vollständig verläuft, sondern bei der Bildung von Aldehyd stehen bleibt, wenn den Essigbakterien eine zu geringe Menge Sauerstoff zur Verfügung steht. Der Aldehyd riecht eigentümlich weinartig und erstickend und siedet bei 21°, daher sind mit dem Auftreten von Aldehyd bei der Essigfabrikation stets Verluste verbunden.

Die Essigbakterien sind unter Umständen, besonders wenn ihnen keine andere Nahrung zur Verfügung steht, auch befähigt, die Essigsäure weiter zu verarbeiten. Sie wird dann zu Kohlensäure und Wasser verbrannt, ein Vorgang, der auch mit Aufnahme von Sauerstoff verbunden ist:



$$C_2H_4O_2 + 2\ O_2 = 2\ CO_2 + 2\ H_2O$$

Essigsäure Sauerstoff Kohlensäure Wasser

Auch von der Essiggärung wissen wir heute bestimmt, daß sie ein durch ein Enzym bewirkter Vorgang ist. Es gelang — ebenso wie bei den Milchsäurebakterien — durch Behandlung mit Azeton die Organismen zu töten, das Enzym dagegen zu konservieren. In eine alkoholhaltige Flüssigkeit gebracht, ruft das Enzym die Bildung von Essigsäure hervor. Aller Wahrscheinlichkeit nach gehört dieses Enzym zur Gruppe der Oxydasen, die befähigt sind, Sauerstoff zu übertragen. Dadurch ist auch die weitere Einwirkung auf die schon gebildete Essigsäure und deren Verbrennung zu Alkohol und Kohlensäure erklärlich.

Essigsäure vermag sich jedoch nicht nur durch die Tätigkeit von Mikroorganismen aus Alkohol zu bilden, sondern sie entsteht auch durch andere Vorgänge. So ist sie ein regelmäßig auftretendes Produkt der trockenen Destillation vieler organischer Stoffe, besonders werden ansehnliche Mengen Essigsäure erhalten, wenn man Holz der trockenen Destillation

unterwirft. Im rohen Zustande besitzt solche „Holzessigsäure“ einen unangenehmen Geruch und Geschmack, doch kann sie durch besondere Verfahren gereinigt werden. Dann unterscheidet sie sich nach gar keiner Richtung von der durch Gärung entstandenen Essigsäure und kann wie diese zu Speisezwecken — Essig ist eine 4- bis 5prozentige wässerige Lösung der Essigsäure — verwendet werden. Allerdings spielen sich bei der Essiggärung noch andere Vorgänge ab, welche den Gärungsessig dem bloß aus reiner Essigsäure und Wasser bereitetem überlegen machen. Es entstehen nämlich bei der Gewinnung des Essigs aus alkoholhaltigen Flüssigkeiten stets noch Nebenprodukte, besonders Essigäther, die dem Essigäther einen angenehmen aromatischen Geruch und Geschmack verleihen. Ganz besonders ist dies bei der Darstellung von Essig aus Wein der Fall.

Die Entstehung von Essigsäure bei der trockenen Destillation des Holzes ist auf die Spaltung von Kohlehydraten durch die Wärme zurückzuführen, eine Sauerstoffübertragung im Sinne der Essiggärung unter Mitwirkung von Bakterien findet daher hier nicht statt. Doch sind wir auch imstande, Alkohol ohne Mitwirkung von Essigbakterien und ohne Hilfe des von ihnen produzierten Enzymes ausschließlich durch chemische Mittel in Essigsäure überzuführen.

Dies ist z. B. der Fall, wenn man fein verteiltes Platin, „Platinmoor“ oder „Platinschwarz“ mit Alkohol befeuchtet. Dann erwärmt sich die Masse sehr stark und gleichzeitig wird der Alkohol zu Essigsäure oxydiert. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß das Platinmoor auf seiner ungemein großen Oberfläche Gase, besonders Sauerstoff aus der Luft, zu verdichten vermag. Dieser Sauerstoff wird dann leicht an oxydierbare Verbindungen abgegeben, wobei diese oxydiert und gleichzeitig Wärme in Freiheit gesetzt wird. Das gleiche findet bei dem alten Döbereinerschen Platinfeuerzeug statt, wobei Wasserstoff gegen fein verteiltes Platin (Platinschwamm) ausströmt. Der Wasserstoff wird durch den in den Poren des Platinschwammes aufgehäuften Sauerstoff oxydiert, gleichzeitig wird so viel Wärme frei, daß der Platinschwamm glühend wird und sich daran der Wasserstoff entzündet.

Döbereiner entdeckte auch die Tatsache, daß auf diese Weise Alkohol in Essigsäure übergeführt werden kann. Wir haben also hier einen Fall, wo ein durch Mikroorganismen hervorgerufener Vorgang auch ganz ohne ihre Mitwirkung durch rein chemische Mittel erzielt wird.

Der Verbrauch an Sauerstoff zur Oxydation des Alkohols, um ihn in Essigsäure überzuführen, ist sehr bedeutend. Wie aus der oben mitgeteilten Gleichung hervorgeht, benötigen 46 Gewichtsteile Alkohol zur Oxydation 32 Gewichtsteile Sauerstoff, mit denen sie dann theoretisch 60 Gewichtsteile Essigsäure liefern. Die in der Praxis erzielbare Ausbeute bleibt natürlich hinter der theoretischen zurück.

Die Essigsäure ist im reinen Zustande eine farblose, durchdringend „essigsauer" riechende Flüssigkeit, welche das spezifische Gewicht 1·055 besitzt und bei 118° siedet. In der Kälte erstarrt sie zu großen Kristallblättern, die bei 17° schmelzen, dem Eisessig. Wichtig ist ihr Verhalten gegen Wasser, mit dem sie sich in jedem Verhältnisse mischt. Zunächst tritt dabei Konzentration ein und das spezifische Gewicht steigt bis auf 1·075 an, dann enthält die Flüssigkeit 77 Prozent Essigsäure. Fährt man jedoch mit der Verdünnung fort, so beginnt das spezifische Gewicht wieder zu sinken und das der 50prozentigen Säure ist annähernd ebenso groß wie das der reinen, unverdünnten Essigsäure.

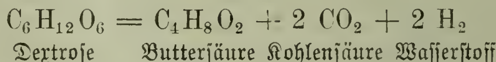
Die Bildung der Essigsäure aus Alkohol durch Aufnahme von Sauerstoff ist ein Oxydationsvorgang und verläuft demnach unter Wärmeabspaltung. Die erzeugte Wärmemenge ist ziemlich bedeutend, sie beträgt bei der Umwandlung von 1 Molekül Alkohol in 1 Molekül Essigsäure 111 Kalorien. In den „Essigbildern" wird die Temperatur durch Vermehrung oder Verminderung des Luftzuges geregelt, dies ist auch aus dem Grunde nötig, um den Vorgang in den richtigen Bahnen zu erhalten und der Bildung von Aldehyd, beziehungsweise der Verbrennung der Essigsäure zu Kohlensäure und Wasser entgegenzuarbeiten.

D. Die Buttersäuregärung.

Die durch verschiedene Bakterienarten hervorgerufene Gärung, bei der Buttersäure das wesentlichste Gärungsprodukt ist, ist in mancher Hinsicht das Gegenstück zur Essigsäuregärung. Während diese unter Aufnahme von Sauerstoff verläuft und daher im chemischen Sinne als Oxydationsvorgang aufgefaßt werden muß, ist die Buttersäuregärung ein Vorgang, der unter Abspaltung von Kohlensäure und Wasserstoff verläuft. Pasteur war der Meinung, daß die Buttersäurebakterien nicht nur ohne Sauerstoff zu leben vermögen, also anaerob sind, sondern durch Sauerstoff direkt geschädigt werden. Wie spätere Forschungen lehrten, trifft dies allerdings für viele der zur Gattung der Buttersäurebakterien gehörenden Rassen zu, jedoch nicht für alle. Buttersäure kann demnach auch bei Gegenwart von Sauerstoff gebildet werden.

Wie schon früher erwähnt (siehe S. 139), kennen wir heute eine große Zahl von Buttersäurebakterien, die sich untereinander durch ihr verschiedenes Verhalten unterscheiden. Es ist daher begreiflich, daß die verschiedensten Stoffe der Buttersäuregärung unterliegen können, so beispielsweise außer Traubenzucker und Milchsäure, die sehr leicht der Buttersäuregärung unterliegen, auch noch Maltose, Milchzucker, Stärke, Dextrin, Weinsäure, Glyzerin usf.

Die Bildung von Buttersäure aus Dextrose verläuft theoretisch nach der folgenden Gleichung:

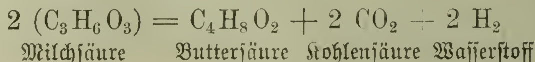


$$C_6H_{12}O_6 = C_4H_8O_2 + 2\ CO_2 + 2\ H_2$$

Dextrose Buttersäure Kohlensäure Wasserstoff

Es bilden sich mithin neben Buttersäure zwei Gase: Kohlensäure und ein brennbares Gas, der Wasserstoff.

Auch Milchsäure, beziehungsweise milchsaurer Kalk unterliegt sehr leicht der Buttersäuregärung, dann verläuft der Vorgang nach dem folgenden Schema:



$$2\ (C_3H_6O_3) = C_4H_8O_2 + 2\ CO_2 + 2\ H_2$$

Milchsäure Buttersäure Kohlensäure Wasserstoff

Im reinen Zustande bildet die Buttersäure eine dicke, widerlich ranzig und schweißig riechende Flüssigkeit, die in der Kälte erstarrt und bei 163° siedet. Das spezifische Gewicht beträgt bei 20° 0·9587, sie ist in Wasser und Alkohol leicht löslich und wird aus der wässerigen Lösung durch Salze abgeschieden. Mit Alkoholen bildet die Buttersäure Ester, die sich durch eigentümlichen Geruch auszeichnen.

Die Buttersäure ist das Nebenprodukt mancher Gärungsvorgänge, die zum Teil unter Mitwirkung von buttersäurebildenden Organismen verlaufen. So bildet sie sich z. B. bei der Gärung der Rohrzuckermelassen und ist dann auch in dem Alkohol, der im verdünnten Zustande den Rum bildet, vorhanden. Das Rumaroma verdankt seine Entstehung zum großen Teil der Gegenwart von Buttersäure und Ameisensäure, beziehungsweise ihren Estern. Man kann dies leicht wahrnehmen, wenn man eine kleine Menge Rum zwischen den Handtellern verreibt und dann den Geruch beobachtet.

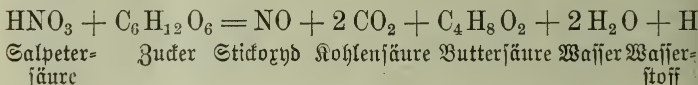
E. Sonstige Gärungsvorgänge.

Jene Gärungserscheinungen, bei denen der Hauptmenge nach Alkohol, beziehungsweise Milchsäure, Essigsäure oder Buttersäure gebildet wird, sind zwar jene, welche praktisch die größte Bedeutung besitzen, doch ist damit die Zahl der Gärungserscheinungen noch lange nicht erschöpft. Durch die Tätigkeit von Mikroorganismen können vielmehr die mannigfachsten Stoffe gebildet werden, und besonders die zur Gruppe der Fäulnisbakterien gehörenden Organismen zeichnen sich durch große Mannigfaltigkeit, auch im Hinblick auf die Gärungsprodukte, aus, wobei allerdings dieses Wort im weitesten Sinne aufgefaßt werden muß.

So kennen wir Gärungsvorgänge, die unter Wasserstoffentwicklung verlaufen, wobei sich außerdem noch Fettsäuren bilden — auch die Buttersäuregärung, die wir eben besprochen haben, gehört, strenge genommen, in diese Gruppe. Bei der Methangärung wird eine Gasart, ein brennbarer Kohlenwasserstoff, das Sumpf- oder Grubengas (Methan) erzeugt.

Beispiele solcher Gärungsvorgänge ließen sich noch in großer Anzahl geben, praktisch haben sie jedoch keine Bedeutung.

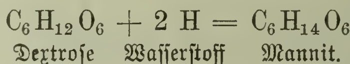
Manche Gärungsvorgänge können sich, wenn sich in der Nährlösung noch andere, der Veränderung unterliegende Substanzen befinden, auch noch weiter erstrecken, dies betrifft besonders Gärungserscheinungen, die chemisch als Reduktionsprozesse aufzufassen sind. So wurde z. B. das Auftreten von salpetriger Säure in Maischen beobachtet, die mit Wasser, welches Salze der salpetrigen Säure enthielt, bereitet waren. Unter Umständen kann auch eine Reduktion der Salze der Salpetersäure zu Stickoxyd stattfinden, etwa — wie Schlösing und Dubrunfaut annahmen — in Verbindung mit Buttersäuregärung, bei der Wasserstoff entsteht, nach dem folgenden Schema:



$$HNO_3 + C_6H_{12}O_6 = NO + 2\,CO_2 + C_4H_8O_2 + 2\,H_2O + H$$

Salpetersäure — Zucker — Stickoxyd — Kohlensäure — Buttersäure — Wasser — Wasserstoff

Auch die Schleimgärung ist zu den besonderen Gärungsvorgängen zu zählen, hier bildet sich aus Zucker unter Wasseraufnahme Mannit:



$$C_6H_{12}O_6 + 2\,H = C_6H_{14}O_6$$

Dextrose — Wasserstoff — Mannit.

IV. Abschnitt.

Die Reinkultur der Gärungsorganismen.

Alle Errungenschaften, welche die Gärungsgewerbe in den letzten Jahren zu verzeichnen hatten, sind — sofern wir von den Verbesserungen rein technischer Natur absehen — auf die Verwendung bestimmter Gärungserreger, mit anderen Worten auf die Anwendung von Reinkulturen zurückzuführen. So lange man die Mikroorganismen einer Gattung immer nur als gleichwertig ansah, konnte von einem Fortschritte nach dieser Richtung keine Rede sein. Erst als man erkannte, daß es bestimmte Arten und Rassen gibt, und beobachtete, wie sehr sich diese untereinander unterscheiden, konnte sich die Lehre von den Gärungsorganismen Schritt für Schritt zu jener Höhe entwickeln, die sie heute einnimmt.

Wohl hatte schon die Verbesserung und allgemeine Anwendung des Mikroskops, dieses unentbehrlichen Hilfsmittels des Gärungstechnikers, gezeigt, daß die Mikroorganismen große Abweichungen hinsichtlich ihrer Form aufweisen. Wir erinnern nur an das über die Größe und Form der Hefezellen gesagte. Roß hat seinerzeit dieses Merkmal zur Unterscheidung der Arten herangezogen und darauf eine Systematik aufgebaut, wobei er die elliptischen Hefezellen als „Saccharomyces ellipsoideus", die walzenförmigen „Saccharomyces Pastorianus" nannte usf., und von der Anschauung ausging, daß alle Hefen, die z. B. elliptische Zellen besitzen, auch zu einer Art oder Gattung gehören und daher gleiche allgemeine Eigenschaften, Lebensbedingungen usf. besitzen müssen. Dieser Einteilung wurde der Boden entzogen, als Hansen zeigte,

wie sich durch äußere Einflüsse die Zellform zu ändern vermag, wie die Zellen einer und derselben Art, je nach den Lebensbedingungen die verschiedensten Zellformen zu bilden vermögen, und wie daher die Gestalt der Zellen eigentlich als etwas mehr zufälliges zu betrachten ist oder zum mindesten niemals ein so scharfes Unterscheidungsmerkmal abzugeben vermag, um darauf eine Einteilung zu gründen.

Pasteur hatte aber schon erkannt, daß neben den Hefearten auch die Bakterien eine bedeutsame Rolle bei den Gärungsvorgängen spielen und daß gerade häufig Bakterien als Erreger von Krankheiten in gegorenen Getränken auftreten. Dies legte den Gedanken nahe, die in den Brauereien benutzte Hefe zu reinigen, und zwar dadurch, daß man sie unter Bedingungen kultivierte, welche ihre Entwicklung zwar nicht schädigte, wohl aber imstande war, das Auftreten von Bakterien zu unterdrücken. Zu diesem Zwecke benutzte er das Verhalten der Hefe gegen chemische Agentien in solchen Konzentrationen, daß sie dadurch nicht geschädigt wird, während die Spaltpilze zugrunde gehen. Er züchtete z. B. die Hefe in einer mit Weinsäure versetzten Zuckerlösung oder in Würze, welche eine geringe Menge Karbolsäure enthält.

Dieses Verfahren führt nun allerdings häufig zu dem gewünschten Ziele, die Bakterien zu vernichten, hatte aber nach einer anderen Richtung oft den entgegengesetzten Erfolg. Pasteur sah nämlich damals einzig und allein die Spaltpilze als die Krankheitserreger an — daß es oft gerade die „wilden Hefen" sind, welche als gefährliche Feinde auftreten, war noch nicht bekannt. Durch sein Verfahren der Reinigung der Brauereihefe werden aber gerade diese wilden Hefen in ihrer Entwicklung begünstigt und die Heferassen, welche in Betracht kommen, in ihrer Entwicklung gehemmt oder ganz unterdrückt. Es ist daher begreiflich, daß sich dort, wo nach diesem Verfahren in der Praxis gearbeitet wurde, sehr oft Mißerfolge einstellten, und dadurch kamen die Ergebnisse dieser Forschungen, so großes theoretisches Interesse man ihnen auch zuerkannte, in den Kreisen der Praktiker in Mißkredit. So standen diese Angelegenheiten noch im Jahre 1884 und Thausing hat dies in folgende treffende Worte ge-

kleidet: „Die Wissenschaft hat über Gärungsorganismen und über das Wesen der Gärung schöne Arbeiten geliefert; für die Brauereien direkt Verwertbares hat sie so gut wie nichts geboten, nach wie vor ist der Gärungsprozeß für den Praktiker in ein mystisches Dunkel gehüllt. Die Untersuchungen Hansens über Züchtung reiner Hefe berechtigen uns allerdings zu großen Hoffnungen; trügen sie nicht, so stehen wir vor einer Errungenschaft, deren Bedeutung nicht hoch genug veranschlagt werden kann. Vorderhand freilich haben wir noch mit den Verhältnissen zu rechnen, wie sie gegenwärtig bestehen."

Hansens erste Arbeiten waren im Jahre 1881 und 1882 erschienen, Thausings Ausspruch war daher vollauf berechtigt, doch auch die Hoffnungen, die er an die damals erst bekannten Anfänge der Hansenschen Entdeckungen knüpfte, sind vollauf in Erfüllung gegangen. Hansen arbeitete zuerst mit wirklichen Reinkulturen, d. h. mit Kulturen, die sich aus einer einzigen Zelle entwickelt haben. Er machte auch zuerst darauf aufmerksam, daß nicht nur Bakterien, sondern auch wilde Hefeformen Krankheiten des Bieres hervorrufen können, und dies veranlaßte ihn zu einem eingehenden Studium der Gärungsorganismen, wobei er jedoch immer von einer einzigen Zelle ausging.

Hansen wendete zur Erzielung von Reinkulturen zunächst die Verdünnung an. Eine geringe Hefemenge wurde in einem größeren Flüssigkeitsquantum verteilt und so bemessen, daß jeder Tropfen dieser Flüssigkeit nach der Verteilung im Durchschnitt höchstens eine Zelle enthalten konnte. Wurden nun sterile Nährflüssigkeiten mit dieser Flüssigkeit geimpft, so war die Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß wenigstens in eine Anzahl der Kulturgefäße nur je eine Hefezelle eingeführt werden wird. Dort sinkt die Zelle zu Boden und entwickelt sich zu einer Kolonie, die an der Entstehung eines Hefefleckes erkannt werden kann. Enthält ein Kolben zwei oder mehrere solcher Hefeflecke, so ist dies ein Beweis dafür, daß auch mehr als eine Zelle hineingelangt sein mußte. Zu den weiteren Beobachtungen werden nur Kolben verwendet, in denen bloß ein einziger Hefefleck sich gebildet hatte, die also je eine Reinkultur enthielten.

Durch Robert Koch wurde dieser Vorgang nach der Richtung verbessert, daß er nicht, wie Hansen, mit Nährlösungen arbeitete, sondern diesen auch noch Gelatine zufügte, und zwar in solcher Menge, daß sie nach einiger Zeit erstarren. Koch arbeitete mit Bakterien und die Verwendung der Gelatine sollte es ermöglichen, die Organismen zu fixieren. Hansen hat dann dieses Verfahren dadurch verbessert und erst zu einem unter allen Umständen sicheren gemacht, daß er von einer einzelnen, unter dem Mikroskope ausgewählten Zelle ausging. Erst dadurch war es möglich, Reinkulturen unter ganz sicheren Verhältnissen zu erzeugen. Freilich läßt uns dieses Verfahren bei den Bakterien, ihrer Kleinheit wegen, im Stiche, für die Hefepilze ist es dagegen zur Grundlage aller späteren Arbeiten und Forschungen geworden. Die Verwendung der Nährgelatine zur Züchtung der Gärungsorganismen erlangte noch dadurch besondere Bedeutung, weil ihre Vegetationen auf Nährgelatine meist ein besonders charakteristisches Aussehen besitzen und dadurch auch zur Unterscheidung der Arten herangezogen werden können.

Nun waren die Mittel und Wege zu weiteren bedeutsamen Forschungen gegeben und Hansen richtete sein Augenmerk auf die in der Praxis der Gärungsgewerbe herrschenden Verhältnisse. Betriebsstörungen, die sich in großen Brauereien zu Kopenhagen einstellten, veranlaßten ihn zu weiteren Untersuchungen und diese führten einerseits zur Erkennung der Krankheitshefen, anderseits aber auch zur Zerlegung der als eine einheitliche Form (Saccharomyces cerevisiae) angesehenen Kulturhefe in verschiedene Arten und Rassen. Das Studium ihrer Eigenschaften wieder regte die planmäßige Auswahl jener an, die für bestimmte Zwecke die wertvollsten Eigenschaften besitzen — und dies führte schließlich und endlich zur Einführung des Reinzuchtsystems in die Gärungsgewerbe, dem wir den gegenwärtigen, hoch entwickelten Stand dieser Industrien zu verdanken haben.

Wenn wir das eben Gesagte und das an früherer Stelle über die Entwicklung der Anschauungen über die Gärung mitgeteilte zusammenfassen, so finden wir, daß sich ihre Entwicklung nicht sprunghaft, sondern Schritt für Schritt voll-

zog. Ausgehend von den ersten Beobachtungen von Hefen und Spaltpilzen durch Leeuwenhoeck stand jeder Forscher auf den Schultern seine Vorgänger und baute dessen Forschungsergebnisse weiter aus. Jede Wahrnehmung, jede Beobachtung besaß einen gewissen Wert, wenn er auch oft nur vorübergehend war und oft später als Irrtum erkannt wurde. Schritt für Schritt wurde das Terrain erobert und dies unter den denkbar schwierigsten Verhältnissen, denn man darf nie vergessen, daß es sich um die Eroberung einer Welt handelte, die sich erst durch Anwendung des Mikroskops erschließen ließ. Auch dieses Instrument war anfangs unvollkommen und mangelhaft. Auch hier mußten zahlreiche Verbesserungen ersonnen werden, ehe es auf die heutige Stufe der Vollkommenheit gelangte. Erst durch die Ausgestaltung dieses unentbehrlichen Hilfsmittels waren die Entdeckungen Pasteurs und Hansens möglich, die sich gegenseitig ergänzt haben. Als die Grundlagen gegeben waren, ging es aber mit Riesenschritten vorwärts und wohl selten hat sich eine neue Errungenschaft so rasch allgemein Anerkennung und Anwendung in der Praxis verschafft, wie gerade das durch Hansen begründete Reinzuchtsystem. Schon im Jahre 1895 konnte Delbrück die Worte sprechen: „Wenn man auf diese 25 Jahre Rückschau hält, so sind es zwei große Epochen, welche die wissenschaftliche Entwicklung der Brauerei bezeichnen, das sind die Arbeiten Pasteurs, welche nach 1870 ausgeführt wurden und im wesentlichen ausklingen in dem, was wir heute noch anstreben, nämlich in der Ersetzung des Kühlschiffes, d. h. in der Abhaltung jeglicher äußeren Infektion, und die Arbeiten Hansens. Aber die damaligen Bestrebungen Pasteurs konnten zu einem gedeihlichen Ende nicht führen, weil ein Punkt noch fehlte, den erst Hansens Schöpfung uns gegeben hat, nämlich die planmäßige Auswahl der reinen Hefe. Diese beiden großen Männer und ihre Schöpfungen haben das letzte Jahrzehnt hindurch uns bewegt und haben die Bierbrauerei zu dem gebracht, was sie heute ist."

Diesen Worten wäre gegenwärtig nur noch hinzuzufügen, daß sich die Forschungen Hansens, die in erster Linie auf eine Verbesserung der Gärungsvorgänge in den Brauereien

abzielten, ebenso nutzbringend auch für alle anderen Zweige der Gärungsgewerbe erwiesen. Die Anwendung von Reinhefen betrifft heute nicht nur die Bierbrauerei, sondern auch die Spiritus- und die Preßhefefabrikation, wie die Weinbereitung, und auch mit der Verwendung rein gezüchteter Bakterienarten für bestimmte Zwecke wurden gleich bedeutende Erfolge erzielt.

Ihre Methoden und Durchführung, die Hilfsmittel und Apparate und endlich die Reinzucht im großen zu besprechen ist der Zweck dieses Abschnittes.

1. Das Mikroskop.

Das wichtigste Hilfsmittel zur Untersuchung von Mikroorganismen ist das Mikroskop, denn es befähigt uns, Vorgänge zu sehen und zu verfolgen, die sich ihrer Kleinheit wegen der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge entziehen würden. Die letzten Jahre haben zahlreiche und mitunter wertvolle Verbesserungen der Mikroskope gebracht, doch ist damit nicht gesagt, daß die teuersten Mikroskope auch unter allen Umständen die besten sein müssen. Ein teures Mikroskop gestattet zwar zumeist ein ebenso bequemes wie sicheres Arbeiten, doch genügen für viele Zwecke auch billigere Instrumente, wenn sie nur sonst gut gebaut sind und sich die optische Einrichtung in gutem Zustande befindet. Wenn es sich nicht um Beobachtungen zu besonderen Zwecken handelt, so sind auch besonders starke Vergrößerungen meist entbehrlich. In der Regel wird man für gärungstechnische Zwecke mit Instrumenten auslangen, die etwa 800- bis 1000fach linear vergrößern.

Jedes Mikroskop (Fig. 22) besteht aus dem Fuße, welcher den Tisch trägt, und dem eigentlichen Stativ, welches den Tubus mit der optischen Einrichtung in seiner Lage erhält. Im Stativ ist eine Vorrichtung vorhanden, welche es ermöglicht, den Tubus durch Drehung einer Scheibe zu heben oder zu senken. Die erste, gröbste Einstellung geschieht durch Verschiebung des Tubus mit der Hand, wobei man ihm eine drehende Bewegung erteilt, die gröbere Einstellung mit Hilfe der erwähnten Schraube. Endlich ist noch eine zweite Schraube

mit sehr flachen Gängen, die Mikrometerschraube, vorhanden, welche die Hebung und Senkung des Tubus um Bruchteile eines Millimeters gestattet.

Der Tubus, welcher die optischen Teile aufnimmt, besteht meist aus zwei ineinander verschiebbaren Rohrstücken, die auseinandergezogen oder ineinandergeschoben werden können. Wird der Tubus verlängert, so vergrößert das Mikroskop stärker, wie wenn mit zusammengeschobenem Tubus gearbeitet wird.

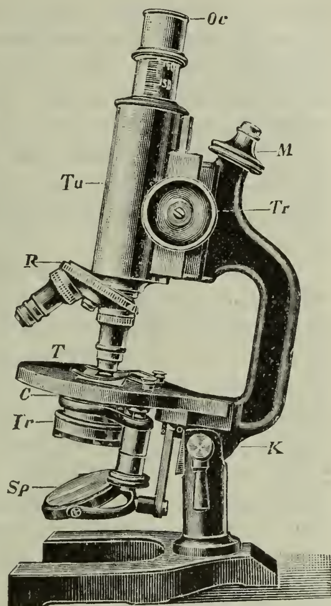


Fig. 22. Mikroskop der Firma C. Reichert, Wien. Oc Okular; Tu Tubus; R Revolvervorrichtung mit den Objektiven; T Tisch; C und Ir Blenden; Sp Beleuchtungsspiegel; K Stativ; Tr Trieb: M Mikrometerschraube.

Die optische Einrichtung besteht aus zwei Teilen, die ihrerseits wieder aus Systemen von Glaslinsen zusammengefügt sind. Jener Teil des Mikroskops, der dem Auge am nächsten ist, heißt das Okular, der dem zu beobachtenden Gegenstand zugekehrte das Objektiv. Das Objektiv liefert ein vergrößertes Bild des Gegenstandes, dieses Bild wird durch das Okular beobachtet und noch weiter vergrößert. Die gesamte, durch ein Mikroskop erzielte Vergrößerung hängt mithin von der Vergrößerung durch das Objektiv und das Okular ab.

Das Objektiv des Mikroskops ist eine konvexe Linse. Fällt ein Bündel paralleler Lichtstrahlen durch eine Konvexlinse, so werden sie gebrochen und im Brennpunkte vereinigt, der Abstand zwischen der Linse und diesem Punkte bildet die Brennweite, auch Fokaldistanz genannt. Umgekehrt wird eine

im Brennpunkte einer konvexen Linse stehende punktförmige Lichtquelle Strahlen aussenden, die, wenn sie die Linse passieren, in ein paralleles Strahlenbündel verwandelt werden. Kommen die Lichtstrahlen jedoch von einem außerhalb des Brennpunktes liegenden Gegenstande, so werden sie durch die Linsen des Objektivs nicht parallel gehen, sondern divergieren und es entsteht ein vergrößertes Bild des Gegenstandes. Die Vergrößerung ist um so stärker, je kleiner die Brennweite ist. Dieses Bild ist „reell“, d. h. es könnte auf einem Schirm aufgefangen werden, doch ist das Bild im Verhältnisse zu dem Gegenstande, von dem es entworfen wird, umgekehrt. Dieses Bild muß genau in den Brennpunkt des Okulares fallen. Das Okular dient als Lupe, mit der wir dieses reelle Bild betrachten.

Jede Linse ist mit gewissen Fehlern behaftet, die um so mehr hervortreten, je stärker die Vergrößerung ist. So werden die durch die Mitte der Linse gehenden Lichtstrahlen anders gebrochen als jene, welche näher den Rändern passieren, und sie treffen sich daher auch nicht in einem Punkte. Dies hat zur Folge, daß die Ränder des Bildes unscharf und undeutlich werden. Ferner werden auch verschiedenfarbige Lichtstrahlen nicht in der gleichen Weise gebrochen. Da nun das weiße Licht aus Strahlen verschiedener Farbe besteht, so werden sie in der Linse verschieden abgelenkt und es entsteht ein Bild, dessen Umrisse die Farben des Regenbogens zeigen. Die erste Erscheinung bezeichnet man als sphärische, die zweite als chromatische Aberation.

Die sphärische Aberation wird dadurch vermindert, daß man nicht alle, sondern nur die aus dem zentralen Teile der Linse kommenden Lichtstrahlen benutzt, dies wird durch Einschaltung von Blenden erreicht, welche diese Lichtstrahlen abhalten. Zur Behebung der chromatischen Aberation wendet man Linsen an, die aus verschiedenen Glassorten zusammengesetzt sind, die das Licht in verschiedenem Grade brechen, außerdem setzt man das Objektiv aus bikonvexen und plankonvexen Linsen zusammen, die je aus einer der erwähnten Glassorten, aus Crownglas und Flintglas, geschliffen sind. Dadurch werden die durch die chromatische und die sphärische

Aberration bedingten Fehler nahezu ganz aufgehoben. Objektive, welche diesen Anforderungen entsprechen, werden achromatisch genannt, bei den sogenannten apochromatischen Objektiven ist durch Verwendung besonderer Glassorten, die sich zu dem erwähnten Zwecke noch besser eignen, dies noch vollständiger erreicht.

Zur Erzielung besonders starker Vergrößerungen und sehr deutlicher Bilder verwendet man die sogenannten Immersionsobjektive. Sie bestehen aus stark gewölbten Linsen, die sehr stark vergrößern, außerdem wird der Zwischenraum zwischen der Linse und dem auf dem Objekte liegenden Deckglase mit Wasser oder Öl ausgefüllt. Wasser oder Öl brechen die Lichtstrahlen weit stärker als die Luft, man erzielt dadurch, daß eine größere Anzahl von Lichtstrahlen in das Objektiv gelangt, wodurch das Bild deutlicher und heller wird. Von homogener Immersion spricht man dann, wenn das Immersionsmittel den gleichen Brechungsindex besitzt wie das Deckglas und die Frontlinse des Objektivs; dies ist meistens bei der Ölimmersion der Fall.

Das Okular wird aus zwei Linsen zusammengesetzt, aus der oberen, dem Auge zugekehrten, und der gegen das Objektiv gerichteten Kollektivlinse. Ihre Aufgabe besteht darin, die Lichtstrahlen zu sammeln, wodurch das Sehfeld kleiner wird. Zwischen beiden Linsen befindet sich eine Blende. Auch das Okular ist derart beschaffen, daß die chromatische und die sphärische Aberation korrigiert wird.

Die Objektive und Okulare sind mit dem Tubus des Mikroskops nicht fix verbunden, sondern sie können entfernt werden. Die Fassung, in welcher sich die Objektivlinsen befinden, läßt sich abschrauben, das Okular wird in den Tubus eingesenkt und ist mit einem vorspringenden Rande versehen, welcher verhindert, daß es ganz hineingleitet. Alle besseren Mikroskope besitzen mehrere Objektive und meist auch zwei Okulare, durch deren Kombination verschiedene Vergrößerungen erzielt werden können. Weitere Kombinationen ergeben sich noch dadurch, daß man den Tubus zusammengeschoben oder ausgezogen benutzt, endlich durch Gebrauch der Immersion.

Jedem Mikroskop ist eine Tabelle beigegeben, in welcher

die durch die Kombination der Objektive und Okulare bei zusammengeschobenem und bei auseinandergezogenem Tubus, endlich bei Verwendung der Immersion erzielbaren Vergrößerungen verzeichnet sind. Die Auswechslung der Objektive durch Ab- und Anschrauben hat den Übelstand im Gefolge, daß diese Arbeit sehr zeitraubend ist und bei unachtsamer Handhabung auch leicht zu Beschädigungen der Objektive führt. Um diese Arbeit zu ersparen und um auch leicht die Vergrößerung zu wechseln, sind daher die neueren Mikroskope mit besonderen Vorrichtungen versehen, wodurch die Auswechslung der Objektive sehr vereinfacht wird. Die Objektive sind entweder in eine Schlittenvorrichtung eingefügt oder sie sind an einer drehbaren Scheibe befestigt (Revolvervorrichtung). Durch Verschiebung des Schlittens oder durch Drehung der Revolvervorrichtung können sie rasch ausgewechselt werden.

Auch der Objekttisch, auf den die Objektträger mit den zu beobachtenden Objekten gelegt werden, besitzt oft verschiedene Einrichtungen, welche die Benutzung des Mikroskops erleichtern. So ist er oft drehbar oder verschiebbar. Der Objekttisch samt der Führung des Tubus ist mit dem Fuße nicht fest verbunden, sondern um ein Gelenk drehbar, um die Beobachtung in verschiedenen Stellungen vornehmen zu können.

Der Objekttisch ist in der Mitte durchbrochen, unterhalb befindet sich ein nach allen Richtungen drehbarer Spiegel. Seine Aufgabe ist, ein Bündel Lichtstrahlen durch die Öffnung des Objekttisches und das darauf gelegte Präparat zu werfen und dieses zu erhellen. Meist ist der Spiegel doppelt, einerseits eben, anderseits konkav. Der konkave Spiegel, der eine stärkere Beleuchtung gestattet, wird bei stärkeren Vergrößerungen benutzt. Um das Auge nicht zu rasch zu ermüden, ist es wichtig, bei mittleren Vergrößerungen keine zu starke Beleuchtung anzuwenden. Die Stärke der Beleuchtung muß überhaupt stets dem zu beobachtenden Objekte angepaßt sein, derart, daß dieses gut und deutlich gesehen wird. Zu große Helligkeit kann oft die Deutlichkeit beeinträchtigen. Zur Regulierung der Lichtstärke dienen die im Objekttisch eingefügten Blenden (Diaphragmen), an deren Stelle bei neueren In-

strumenten meist eine Irisblende tritt, welche durch einfache Drehung die Verengung oder Erweiterung der Blendenöffnung gestattet. Zur Verstärkung der Helligkeit dient auch der Abbesche Beleuchtungsapparat, der aus einer zwischen den Spiegel und das Objekt eingeschalteten Linse oder einer Kombination von Linsen besteht.

Zum Mikroskopieren bei künstlichem Licht benutzt man besondere Mikroskopierlampen, die zweckmäßig so aufgestellt werden, daß der von ihnen entsendete Lichtkegel hauptsächlich nur den Beleuchtungsapparat des Mikroskops trifft und das Auge nicht belästigt. Wird eine Lichtquelle verwendet, welche stark gelbes Licht liefert, wie Gas oder Petroleum, so ist es angezeigt, zwischen die Lichtquelle und den Beleuchtungsapparat eine blaue Flüssigkeit in einer Kugel oder Küvette einzuschalten. Man füllt sie am besten mit einer Lösung von Kupfervitriol, der etwas Ammoniak zugefügt wurde, dadurch entsteht eine tiefblau gefärbte Lösung von Kupferoxydammoniak.

Das zu beobachtende Objekt wird auf den Objektträger gebracht. Dies ist eine rechteckige Glasplatte, etwa 1·5 Millimeter dick, 75 Millimeter lang und 25 Millimeter breit. Das Objekt, etwa ein Flüssigkeitströpfchen, in dem sich die zu beobachtenden Mikroorganismen befinden, wird dann mit einem Deckgläschen bedeckt. Die Deckgläschen sind dünne, quadratische Glasblättchen, die vor der Verwendung — ebenso wie der Objektträger — stets sorgfältig gereinigt werden müssen. Man bewahrt sie am besten in Glasbehältern auf, wo sie gegen Staub und Verunreinigung gesichert sind.

Zur Bestimmung der Anzahl von Mikroorganismen, die sich in einem Präparate befinden, wendet man in Quadrate geteilte Deckgläschen an. Der Flüssigkeitstropfen darf dann natürlich nicht unter dem geteilten Deckgläschen hervortreten. An ihrer Stelle benutzt man auch die Netzokulare, eine runde Glasscheibe, in welcher gleich große Quadrate eingeätzt sind; sie wird im Okular des Mikroskops angebracht.

Dem gleichen Zweck dient auch der Zeißsche Hefezählapparat. Er besteht aus einem Objektträger, auf dem ein genau 0·2 Millimeter dickes Deckglas aufgekittet ist, welches

in der Mitte einen runden Ausschnitt besitzt. In der Mitte des Ausschnittes ist der Objektträger mit einer Quadrateinteilung versehen, deren Größe 0·0025 Quadratmillimeter beträgt. Um nun mit dieser Vorrichtung die in einem Tröpfchen vorhandene Anzahl von Hefezellen zu bestimmen, wird es auf diesen Ausschnitt gebracht und mit einem gewöhnlichen Deckgläschen bedeckt. Der Flüssigkeitstropfen muß die Höhlung ganz ausfüllen und von dem Deckgläschen berührt werden.

Das Deckglas mit dem Ausschnitte ist 0·2 Millimeter dick, jedes der eingeritzten Quadrate 0·0025 Quadratmillimeter groß, daher beträgt das Volumen jedes über einem solchen Quadrate befindlichen Flüssigkeitssäulchen 0·0005 (fünf Zehntausendstel) Kubikmillimeter. In einem Tropfen jener Flüssigkeit, z. B. Würze, in der die Menge der vorhandenen Zellen zu bestimmen ist, befinden sich zumeist so viele Zellen, daß die Zählung unmöglich wäre. Man muß daher die Flüssigkeit vorher entsprechend verdünnen, aber stets unter Berücksichtigung ihres Volumens, um die gefundene Zellenanzahl in der verdünnten Flüssigkeit auf die unverdünnte umrechnen zu können. Richtige Zahlen werden nur dann erhalten, wenn man vorher durch kräftiges, wiederholtes Umschütteln für die gleichmäßige Verteilung der Zellen in der Flüssigkeit sorgt. Dann mißt man beispielsweise 10 Kubikzentimeter ab und verdünnt sie auf 1000 Kubikzentimeter, die Verdünnung beträgt dann das Hundertfache. Auch die verdünnte Flüssigkeit wird dann wieder gut umgeschüttelt und nun die Kammer des Zählapparates mit einem Tröpfchen gefüllt.

Nun wird die Anzahl der Zellen unter dem Mikroskop durch Zählung bestimmt, wobei man jedoch in der Regel nicht die Zellen in allen Quadraten, sondern nur in einer gleichen Anzahl an verschiedenen Stellen des Präparates ermittelt. Sind die Zellen gleichmäßig verteilt, so werden die einzelnen Zählungen nicht wesentlich voneinander abweichen, wohl aber dann, wenn sie unregelmäßig verteilt sind. Es kann dann nur durch wiederholte Zählung in verschiedenen Präparaten eine der Wirklichkeit nahekommende Zahl erhalten werden. Man erfährt also dadurch im Durchschnitte die An=

zahl der in je 0·0005 Kubikmillimeter enthaltenen Zellen und kann — unter Berücksichtigung der Verdünnung — dann ihre Anzahl auf die Volumseinheit der Ausgangsflüssigkeit umrechnen.

Sollen stark flockende Hefen, wie untergärige Brauereihefen, gezählt werden, so müssen die Verbände vorher getrennt werden, dies geschieht durch Zusatz von etwas Natronlauge oder Schwefelsäure zu der Verdünnungsflüssigkeit. Sehr wichtig ist natürlich stets, wie schon erwähnt, die Zellen durch Umschütteln gleichmäßig zu verteilen. Natürlich muß dann auch sehr rasch die Probe entnommen werden, damit sich die Zellen nicht inzwischen wieder zu Boden setzen.

Den neuesten Fortschritt auf dem Gebiete der Mikroskopie bedeuten die Ultramikroskope, welche die Sichtbarmachung von Teilchen ermöglichen, deren Größe nur 4 Milliontel Millimeter beträgt. Sie beruhen auf einer eigentümlichen Beleuchtung des Präparates, indem die Lichtstrahlen nicht von unten, sondern von der Seite, senkrecht auf die Achse des Mikroskops eintreten. Um die Wirkung dieser Beleuchtungsart zu verstehen, brauchen wir uns nur an das Sichtbarwerden der zartesten, in der Luft schwebenden Staubteilchen zu erinnern, wenn sie in einem dunklen Raume von einem Sonnenstrahl getroffen werden. Während die Luft sonst ganz frei von Staubteilchen zu sein scheint, treten sie in dem Strahle deutlich hervor, wenn er ungefähr senkrecht zur Augenachse vorbeizieht.

Mikroskope müssen natürlich stets mit der größten Sorgfalt behandelt und peinlich sauber und reinlich gehalten werden. Große Sorgfalt ist natürlich auch der Reinigung der Linsen der Objektive und Okulare zuzuwenden, die derart zu geschehen hat, daß die Oberfläche der Linsen nicht zerkratzt wird. Man verwendet dazu ein staubfreies Leinenläppchen, mit dem man aber niemals starken Druck auf die Linsen ausüben darf. Besonders sorgfältig muß natürlich die Reinigung geschehen, wenn man mit der Wasser- oder Ölimmersion gearbeitet hat. Man entfernt dann zweckmäßig vorher das Immersionsmittel mit Hilfe eines Stückchens Filtrierpapier. Wird ein Mikroskop häufig verwendet, so ist es besser, es unter einer Glasglocke

vor Staub geschützt stehen zu lassen, als es auseinander zu nehmen und in den Kasten zu legen. Zur Reinigung des Mikroskops selbst benutzt man zweckmäßig einen weichen Pinsel.

2. Arbeitsweisen und Apparate.

Zur Ausführung bakteriologischer Arbeiten gehören vor allem auch geeignete Räume. Eine Hauptforderung ist, daß diese Räume nach Möglichkeit staubfrei sind und peinlich rein gehalten werden. Um dies zu ermöglichen, müssen auch die Arbeitstische, Vorratsschränke ꝛc. eine geeignete Form erhalten. Einspringende Winkel, Fugen, Hohlkehlen ꝛc., in denen sich der Staub abzulagern vermag, sind tunlichst zu vermeiden, ebenso ist die Herstellung eines fugenfreien Fußbodenbelages, wie Xylolith oder Linoleum, angezeigt. Um die Platten der Arbeitstische leicht rein halten zu können, versieht man sie mit einem dauerhaften Lacküberzug oder legt Glasplatten auf, die oftmals mit einem feuchten Schwamme abgewischt werden. Auch die Hände müssen natürlich öfters gereinigt werden, wozu man Wasser, Seife und Bürste, eventuell Alkohol benutzt.

Alle Gefäße, Nährlösungen, Geräte ꝛc., die zur Herstellung von Reinkulturen benutzt werden sollen, müssen steril sein, d. h. sie müssen einer solchen Behandlung unterzogen werden, daß alle daran befindlichen Mikroorganismen und deren Sporen sicher getötet sind. Auch während der Arbeit selbst, z. B. während des Abimpfens der Kulturen, ist durch entsprechende Vorsichtsmaßregeln nach Möglichkeit eine Infektion aus der Luft zu verhüten. Natürlich dürfen auch Gefäße, Kolben ꝛc., welche sterile Nährlösungen oder Kulturen enthalten, niemals länger als unbedingt erforderlich, offen gelassen werden.

Zum Verschließen der Kulturgefäße benutzt man Pfropfen aus Watte, die fest in den Hals des Kolbens, der Eprouvette ꝛc. passen müssen. Man verfertigt sie aus entfetteter Baumwolle, die man in dünnen Lagen übereinanderlegt und dann pfropfenförmig umstülpt. Die Baumwolle läßt wohl die Luft oder andere Gase hindurch, bildet aber ein zuverlässiges

Filter für Mikroorganismen. Allerdings ist es nicht ausgeschlossen, daß Schimmelpilze im Laufe der Zeit hindurchwachsen, doch wird sich dieser Fall bei sonst richtiger Behandlung nicht allzu häufig ereignen.

Auf den aus Baumwolle verfertigten Verschlüssen lagert sich jedoch Staub ab, der stets mit Mikroorganismen aller Art beladen ist. Ehe man daher ein solches Gefäß öffnet, welches einen Verschluß aus Baumwolle trägt, muß man die Vorsichtsmaßregel gebrauchen, den Baumwollpfropf an einer Flamme abzubrennen, ebenso die Mündung des Gefäßes an der Flamme zu erwärmen. Überhaupt ist die direkte Erhitzung in der offenen Flamme die am rascheſten und bequemsten zum Ziel führende Desinfektionsmethode, die man überall dort anwendet, wo es die Natur des zu sterilisierenden Gegenstandes gestattet. Impfnadeln, Pinzetten, Objektträger und Deckgläschen 2c. werden daher vor der Verwendung stets auf diese Weise keimfrei gemacht.

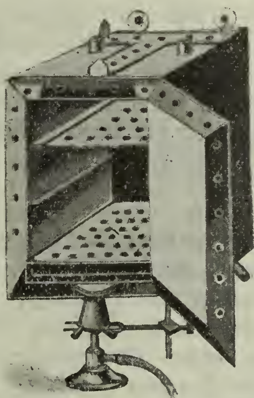


Fig. 23. Sterilisationsschrank.

Die Sterilisierung von leeren Gefäßen, Petrischalen 2c. wird in eisernen Kästen ausgeführt, die soweit erhitzt werden, daß die Temperatur im Innern 160° beträgt. Es genügt dann, die Gefäße während einer Stunde dieser Temperatur auszusetzen und dann langsam im Sterilisationsschrank (Fig. 23) erkalten zu lassen, um sicher zu sein, daß sie nun keimfrei sind. Man hält sich stets einen Vorrat solcher sterilisierter Gefäße bereit und bewahrt sie an einem staubfreien Orte auf.

Für die zu kultivierenden Hefen, Bakterienarten, Schimmelpilze 2c. müssen passende Nährlösungen zur Verfügung stehen, in denen sie sich ungehindert zu entwickeln vermögen und vor allem ihrer Entwicklung zusagende Bedingungen vorfinden. Im Hinblick auf die Mannigfaltigkeit der in Betracht

kommenden Organismen und ihre so wechselnden Ansprüche an die Nährstoffe, ist es klar, daß es eine für alle Zwecke gleich gut geeignete Nährlösung nicht gibt. Vielmehr muß für jeden besonderen Zweck auch eine besondere, gut geeignete Nährlösung benutzt werden.

Ein ausgezeichnetes Nährmedium für die Hefepilze bildet ungehopfte oder gehopfte, d. h. mit Hopfen gekochte

Würze.

Für die Züchtung untergäriger Bierhefen ist es meist angezeigt, gehopfte Würze zu verwenden, weil sich die Hefen dann schon frühzeitig an die aus dem Hopfen gelösten Stoffe, welche für viele Mikroorganismen giftig sind, gewöhnen. Auch hält sich die gehopfte Würze länger und besser als ungehopfte.

Auch

Hefewasser

ist für viele Mikroorganismen eine gute Nährlösung, muß dann aber dem Zwecke entsprechende Zusätze erhalten. Man bereitet das Hefewasser durch Kochen von Hefe mit Wasser, etwa im Verhältnisse 1:2, worauf man die trübe Flüssigkeit in hohen Glasgefäßen absetzen läßt. Ist dies nach etwa 24 Stunden der Fall, so gießt oder hebert man vorsichtig die obere, klare Schicht ab, filtriert sie durch Papier und füllt sie in sterile Gefäße ab, worauf sie natürlich noch sterilisiert werden muß. Sollen Hefen in Hefenwasser gezüchtet werden, so muß noch Zucker, für Essigbakterien oder Kahmhefen Alkohol 2c. zugefügt werden.

Für viele Zwecke verwendet man jedoch nicht flüssige, sondern feste Nährböden, welche unter Verwendung von Gelatine oder von Agar bereitet werden. 5- bis 10prozentige Gelatinelösungen haben die Eigenschaft, zu festen Gallerten zu erstarren, ebenso Agar, eine aus Meeresalgen bereitete Gallerte. Gegenüber der Gelatine haben sie den Vorzug, daß schon etwa 1·5prozentige Lösungen fest werden und daß der Erstarrungspunkt viel höher, etwa bei 40° liegt. Sie wird daher hauptsächlich dort verwendet, wo es sich um Züchtung bei höheren Temperaturen handelt. Den Lösungen von

Gelatine, beziehungsweise Agar müssen, weil sie selbst keine Nährstoffe für die Mikroorganismen sind, solche in entsprechender Form zugesetzt werden.

Würzegelatine

wird aus Würze bereitet, doch muß diese vorerst durch wiederholtes Kochen und Filtrieren von den gelösten Eiweißstoffen befreit werden. Die Würze, deren Konzentration etwa 8 bis 10° Balling betragen soll, wird in entsprechend geräumigen Kolben mit 5 bis 10 Prozent Gelatine versetzt und dann auf dem Wasserbad erwärmt, bis die Gelatine erweicht ist; hierauf wird sie durch Papier oder Watte, am besten unter Verwendung eines Heißwassertrichters geklärt. Dann wird sie in einem Glaskolben gesammelt und sterilisiert. Die sterilisierte Würze wird endlich in entsprechende Gläser (Eprouvetten) abgefüllt und abermals sterilisiert, worauf man sie erstarren läßt. Für manche Zwecke ist es angezeigt, vor dem Erstarren die Gläser schräge zu legen, so daß eine größere Gelatineschicht entsteht, auf der sich leicht Kulturen anlegen lassen. Im Winter genügt es, Würzegelatine mit 6 bis 7 Prozent Gelatinezusatz zu verwenden, während man im Sommer den Gelatinezusatz auf 10 bis 12 Prozent erhöht, um das Erstarren auch bei höheren Temperaturen zu sichern. Bemerkt sei, daß durch öfteres und anhaltendes Erhitzen das Erstarrungsvermögen der Gelatine leidet.

Würzeagar,

mit einem Agargehalte von 1 bis 2 Prozent wird in ähnlicher Weise hergestellt, nur ist es empfehlenswert, das Agar vorher in kleine Stücke zu zerschneiden und in lauem Wasser einige Stunden vorzuquellen, weil es sich dann rascher löst. Doch muß die Lösung durch Kochen über freiem Feuer oder in einem Dampftopf vorgenommen werden. Würzeagar filtriert viel schwieriger als Gelatine, man unterläßt es daher entweder ganz oder läßt die heiße Flüssigkeit in hohen Gefäßen absitzen, worauf man sie vorsichtig dekantiert oder nach dem Erstarren das obere blanke Stück verwendet. Würzeagar ist

übrigens stets etwas opalisierend, während Gelatinelösungen vollständig blank erhalten werden können.

Nährbouillon und Fleischsaftgelatine

wird zur Züchtung von Bakterien benutzt. Sie wird bereitet, indem man frisches, fein gehacktes Rindfleisch bei niederer Temperatur mit Wasser auslaugt — etwa 0·5 Kilogramm Fleisch und 1 Liter Wasser — den Saft abpreßt und mit Wasser auf 1 Liter ergänzt. Sie wird dann alkalisch gemacht, mit 1 Prozent Pepton und 0·5 Prozent Kochsalz versetzt, gekocht und heiß filtriert. Zur Bereitung von Fleischsaftgelatine werden dann in der Lösung noch 10 Prozent Gelatine gelöst.

Für manche Zwecke verwendet man auch Nährlösungen, die keinen Eiweißstickstoff enthalten. So besteht die von Voges und Proskauer benutzte Nährlösung aus:

Wasser	1	Liter
Kochsalz	5	Gramm
Neutrales Natriumphosphat .	2	„
Milchsaures Ammon . . .	6	„
Asparagin	4	„

Künstliche Nährlösungen

können für viele Zwecke benutzt werden, allerdings gibt es auch Pilze, die auf künstlichen Nährlösungen nur sehr schlecht oder überhaupt nicht wachsen. Die Zusammensetzung künstlicher Nährlösungen, die besonders für Kulturhefen geeignet sind, haben wir schon auf S. 64 mitgeteilt. Es seien hier noch einige andere Nährlösungen für Bakterien und Schimmelpilze nach W. Henneberg angeführt.

Nährlösungen für Essigbakterien.

1·0 Prozent Liebigs Fleischextrakt,
1·0 „ Pepton-Witte,
3·0 „ Dextrose,
4·0 Volumprozent Alkohol,
destilliertes Wasser

oder:

0·3 Prozent schwefelsaures Ammon,
0·3 „ saures phosphorsaures Kalium,
0·2 „ schwefelsaures Magnesium,
2·0 „ Traubenzucker,
2·0 „ Alkohol,
destilliertes Wasser.

Henneberg bemerkt jedoch ausdrücklich, daß nicht alle Arten der Essigpilze in diesen Nährlösungen gleich gut wachsen. Manche Arten zeigen ein gutes, andere dagegen nur ein geringes Wachstum.

Nährlösungen für Milchsäurebakterien.

1·0 Prozent Pepton-Witte,
0·3 „ Asparagin,
0·3 „ saures phosphorsaures Kalium,
0·01 „ schwefelsaures Magnesium,
5·0 „ Traubenzucker,
destilliertes Wasser

oder:

3·0 Prozent Hefeextrakt,
20·0 „ Rohrzucker,
destilliertes Wasser.

Auf der zuerst angeführten Lösung entwickeln sich alle Milchsäurebakterien nur mäßig, dagegen ist die zweite für manche Arten sehr geeignet. Bacillus Delbrücki wächst in künstlichen Nährlösungen nur schlecht.

Nährlösungen für Schimmelpilze.

1·0 Prozent Pepton,
0·2 „ saures phosphorsaures Ammon,
0·2 „ salpetersaures Kalium,
0·05 „ schwefelsaures Magnesium,
0·01 „ Chlorkalzium,
10·0 „ Traubenzucker,

destilliertes Wasser.

oder:

0·2	Prozent	salpetersaures Kalium,
0·1	„	saures phosphorsaures Kalium,
0·05	„	schwefelsaures Magnesium,
0·01	„	Chlorkalzium,
10·0	„	Rohrzucker,

destilliertes Wasser.

Sterilisieren der Nährlösungen.

Während der Bereitung der Nährlösungen ist es unvermeidlich, daß Keime aus der Luft hineingelangen. Diese würden sich alsbald entwickeln und die Lösungen unbrauchbar machen. Man muß sie daher vor der Verwendung einer Behandlung aussetzen, wodurch die darin befindlichen Organismen getötet werden. Erhitzen auf Temperaturen über 100° in heißer Luft würde zwar in allen Fällen zum Ziel führen, ist jedoch nicht verwendbar, weil dadurch auch die Beschaffenheit der Nährlösungen ungünstig beeinflußt würde. Bei gelatinehaltigen Nährlösungen ist ferner darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Gelatine bei öfterem Erwärmen auf höhere Temperaturen ihr Erstarrungsvermögen ganz einbüßt oder doch nur sehr langsam und unvollständig fest wird.

Erhitzen auf 50 bis 70° genügt, um die vegetativen Formen der Pilze zu töten, es reicht aber nicht aus, um auch die Sporen, die, wie wir wissen, weit widerstandsfähiger sind, zu vernichten. Durch das sogenannte Pasteurisieren, wie dieser Vorgang genannt wird, gelingt es daher nicht, alle Nährlösungen keimfrei zu erhalten. Dagegen genügt das Pasteurisieren, um alkohol- und säureenthaltende Flüssigkeiten, wie Wein, Bier, Essig, in denen sporenbildende Bakterien keine Rolle spielen, haltbar zu machen.

Durch trockene Wärme ließen sich allerdings auch die Sporen töten, doch ist dieses Verfahren zur Sterilisierung von Nährlösungen, wie erwähnt, nicht anwendbar. Man muß daher zu einem Aushilfsmittel greifen, indem man zum Zweck der Vernichtung der Sporen die Lösungen wiederholt pasteurisiert oder, wie der technische Ausdruck lautet, der fraktionierten (unterbrochenen) Sterilisierung unterwirft. Dann

haben in den Pausen zwischen zwei Sterilisierungen die Sporen Gelegenheit, auszukeimen, d. h. vegetative Zellen zu bilden, und diese werden dann bei der darauffolgenden nächsten Sterilisierung getötet. Zweckmäßig nimmt man das Erhitzen im strömenden Dampfe im Dampftopf (Fig. 24) vor, wobei man die Lösungen ꝛc. an drei aufeinanderfolgenden Tagen der Sterilisation unterwirft, die Erhitzung jedoch nicht über eine Viertel- oder eine halbe Stunde ausdehnt. Nährböden mit Gelatine dürfen nur sehr kurz (15 Minuten) und sehr vorsichtig sterilisiert werden, besonders wenn sie sauer reagieren, weil sonst das Erstarrungsvermögen leidet. Maische, Milch und Würze müssen dagegen länger, jedesmal mindestens eine halbe Stunde hindurch sterilisiert werden. Am vierten Tage stellt man sie dann, ebenso wie die daraus bereiteten Agarnährböden, einige Stunden hindurch in einen auf 35 bis 40° erwärmten Brutkasten, um das Auskeimen der noch vorhandenen Sporen zu begünstigen, dann wird abermals sterilisiert und dies nochmals in der gleichen Weise mit einem Tag Pause wiederholt. Man rechnet die Dauer der Sterilisierung von dem Augenblick an, wo Dampf aus dem Dampftopfe zu strömen beginnt.

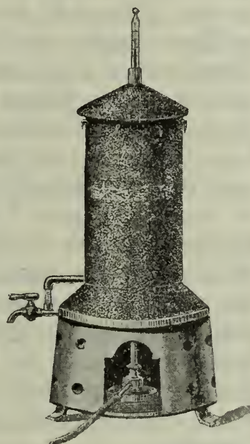


Fig. 24. Dampftopf zur Sterilisation in strömendem Dampfe.

Weit rascher gelingt es, die Nährböden steril zu erhalten, wenn man nicht im strömenden Dampf, sondern in Dampf unter Druck erhitzt. Hierzu dient ebenfalls der oben abgebildete Dampftopf oder ähnliche Apparate, nur wird die Öffnung, durch die der Dampf entweicht, geschlossen, sobald alle Luft aus dem Innern des Dampftopfes verdrängt ist. Natürlich muß dann auch der Deckel fest aufgeschraubt sein. Steigert man den Druck auf 1 Atmosphäre, so genügt schon das Erhitzen während einer halben Stunde, bei 1·5 Atmosphären

während 10 Minuten und bei 2 Atmosphären binnen 5 Minuten, um die Nährlösungen vollkommen steril zu erhalten, allerdings können nicht alle Nährböden diesem Verfahren unterworfen werden, gelatinehaltige sind natürlich ausgeschlossen.

An Stelle des Dampftopfes, der allerdings ein ebenso bequemes wie sicheres Arbeiten gestattet, besonders dort, wo Gasheizung zur Verfügung steht, kann die fraktionierte Sterilisation auch in einem gewöhnlichen Topf ausgeführt werden. Man stellt die mit den zu sterilisierenden Nährböden gefüllten Gefäße auf einen siebartig durchlöcherten falschen Boden in den Topf und füllt so viel Wasser ein, daß es auch im lebhaftesten Kochen die Baumwollverschlüsse nicht benetzt. Glasgefäße mit dünnem Boden werden zum Schutz gegen das Zerbrechen auf ein zusammengefaltetes Tuch oder auf eine Lage Baumwolle gestellt. Man erhitzt dann das Wasser in dem Topfe zum Sieden und beläßt die zu sterilisierenden Gefäße während 20 Minuten darin. Man läßt dann die Gefäße erkalten, jedoch außerhalb des Wasserbades, damit die vorhandenen Sporen nicht zu rasch auskeimen. An den folgenden Tagen wird dann das Sterilisieren wiederholt, doch beläßt man dann die Gefäße in dem sich nur langsam abkühlenden Wasserbade. Nach 4- bis 5maliger Wiederholung dieses Vorganges ist dann ebenfalls die Sterilisierung vollkommen.

Mit sterilen Flüssigkeiten, beziehungsweise Nährböden gefüllte Gefäße sollen nur an einem kühlen Orte im Dunkeln aufbewahrt werden. Bewahrt man sie längere Zeit auf, so muß in angemessenen Zeiträumen das Sterilisieren wiederholt werden, doch ist es nicht ratsam, zu große Vorräte auf einmal zu bereiten, weil sich viele Nährböden auch durch rein chemische Vorgänge mit der Zeit verändern, ferner trocknen sie ein und werden dadurch unbrauchbar. Nährböden, die schlecht sterilisiert waren und auf denen sich Mikroorganismen, wie Schimmelpilze 2c., zu entwickeln begannen, können durch sorgsameres Wiederholen der Sterilisation nicht wieder brauchbar gemacht werden. Denn sie enthalten dann schon Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen, die andere darauf gezüchtete Pilze ungünstig beeinflussen würden.

Diese sterilen Nährböden dienen zur Herstellung der Kulturen. Man unterscheidet verschiedene Arten, wie Plattenkulturen, Stichkulturen, Strichkulturen 2c.

Plattenkulturen werden erhalten, indem man den zu züchtenden Pilz in verflüssigte Gelatine oder Agar überimpft und diese dann auf eine ebene Fläche, wie z. B. eine Petrischale, ausgießt. Die Petrischalen bestehen aus zwei runden Glasschalen mit rechtwinklig aufgebogenen Rändern, von denen eine einen etwas geringeren Durchmesser besitzt, so daß die zweite Schale wie ein lose aufsitzender Deckel darüber gestülpt werden kann. Vor der Verwendung werden diese Petrischalen in heißer Luft sterilisiert, während des Eingießens der Gelatine lüftet man den Deckel nur so weit, als es unbedingt nötig ist. Indem die Gelatine erstarrt, umhüllt sie die einzelnen Zellen, diese entwickeln sich dann zu Kolonien, die dem freien Auge sichtbar sind.

Strichkulturen werden ausgeführt, indem man eine vorher durch Ausglühen sterilisierte Platinnadel in die abzuimpfende Kultur taucht und sie dann auf der Oberfläche eines mit einem erstarrten gelatine- oder agarhaltigen Nährbodens gefüllten Gefäßes abstreicht. Häufig verwendet man hierzu Eprouvetten, die vor dem Erstarren des Nährbodens schräge gelegt werden, so daß der Nährboden eine größere Oberfläche besitzt. Vor dem Öffnen eines solchen Röhrchens wird der Wattepfropf an der Flamme abgesengt; man hält das Röhrchen schief, um während des Überimpfens das Hineinfallen von Keimen aus der Luft nach Möglichkeit zu verhüten, worauf es sofort verschlossen wird. Rasches Arbeiten ist in allen Fällen unerläßlich, um Infektionen zu verhüten.

Die Stichkultur wird in ähnlicher Weise durchgeführt, nur überträgt man hier die Vegetation in eine dickere Schicht der erstarrten Nährböden.

Riesenkolonien werden erhalten, indem man einen Nährboden in einem geeigneten Kölbchen oder einer Flasche mit rechtwinkligen Wandungen in schräger Lage erstarren läßt und dann mittels einer ausgeglühten Platinöse ein Tröpfchen der abzuimpfenden Flüssigkeit genau in die Mitte

der vom Nährboden gebildeten Fläche aufträgt. Man richtet das Fläschchen nicht eher auf, als bis das Tröpfchen von der Gelatine aufgesogen wurde. Bei der Überimpfung ist strenge darauf zu sehen, daß kein Verspritzen stattfindet. Die Kolonie entwickelt sich dann ungehindert und nimmt bei vielen Heferassen charakteristische Formen an, die mitunter bei der Unterscheidung von Heferassen gute Dienste leisten können.

Das Wachstum der Hefen und der Mikroorganismen überhaupt wird, wie wir schon wiederholt betont haben, in hohem Grade durch die Temperatur beeinflußt. Um daher bei gärungsphysiologischen Untersuchungen gute Ergebnisse zu erzielen, ist es häufig nötig, die Organismen bei bestimmten Temperaturen zu kultivieren. Zur Einhaltung dieser Temperaturen dienen entsprechend gebaute, gut verschließbare, meist mit Doppeltüren versehene Kästen, die meist mit Heizvorrichtungen ausgestattet sind, um die Temperatur entsprechend steigern zu können. Die Kästen sind doppelwandig, um den Wärmeausgleich mit der sie umgebenden Luft nach Möglichkeit zu verhüten, die Zwischenwandungen sind entweder mit Luft oder mit Flüssigkeiten, wie Wasser, Paraffinöl ꝛc., gefüllt (Brutschränke).

Um jedoch die Temperatur bei heizbaren Brutschränken konstant zu erhalten, sind diese mit einer Vorrichtung zur Regelung der Temperatur ausgerüstet (Thermostate), die verschiedene Konstruktionen aufweist. Zumeist wird das Ausdehnungsvermögen des Quecksilbers benutzt und in geeigneter Weise auf die als Wärmequelle dienenden Gasflammen übertragen. Dies kann in verschiedener Weise geschehen, entweder derart, daß das sich ausdehnende Quecksilber den Querschnitt einer Öffnung, durch welche das Gas zuströmt, verringert, wodurch die Flamme kleiner wird, so lange, bis die Temperatur im Innern des Brutkastens wieder gesunken ist, oder dadurch, daß die Regulierung der zuströmenden Gasmenge mit Hilfe eines durch einen Elektromagnet betätigten Regulators geschieht. Dann liegt der Vorrichtung das folgende Prinzip zugrunde:

In einer oben offenen Glasröhre von nicht zu großem Querschnitte befindet sich Quecksilber, unten führt ein Stück

Platindraht durch die Glaswand und steht mit dem Quecksilber in Berührung. Von oben ragt in das Glasrohr ebenfalls ein Stück Platindraht, doch nur so weit, als dem Stande des Quecksilbers bei einer bestimmten, nicht zu überschreitenden Temperatur entspricht. Beide Drähte führen zu einer Batterie, in den Stromkreis ist ein Ventil eingeschaltet, welches durch einen Elektromagnet, der für gewöhnlich stromlos ist, zum Teil geschlossen werden kann; durch dieses Ventil strömt das Leuchtgas zu. Steigt nun die Temperatur im Innern des Thermostats bis zu einer bestimmten Höhe, die nicht überschritten werden soll, so dehnt sich ihr entsprechend auch das Quecksilber aus und berührt schließlich den von oben in das Glasrohr hineinragenden Platindraht. In diesem Augenblicke wird der Strom geschlossen, der Elektromagnet verengt die Zuströmungsöffnung für das Gas und die Flamme wird kleiner. Sinkt nun wieder die Temperatur, so zieht sich das Quecksilber zusammen, der Strom wird unterbrochen und der Elektromagnet stromlos, worauf er das Ventil freigibt, und die Gasflamme wieder mit normaler Größe brennt. Dieses Spiel wiederholt sich unausgesetzt; durch Heben oder Senken des Platindrahtes kann solch ein Thermostat innerhalb weiterer Grenzen für verschiedene Temperaturen eingestellt werden.

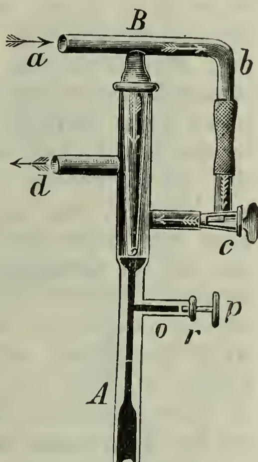


Fig. 25. Thermoregulator nach Reichert. Beschreibung siehe Text.

Einen nur auf dem Ausdehnungsvermögen des Quecksilbers beruhenden Thermoregulator nach Reichert zeigt Fig. 25. Das Gas tritt bei a in das Rohr B ein und gelangt in dem sich nach unten verjüngendem Rohr in der Richtung des nach abwärts gerichteten Pfeiles, das unten schräge abgeschnitten ist, auf die Oberfläche des Quecksilbers, das in einem kapillaren, sich unten erweiternden Rohre, welches in

das Innere des Thermostaten ragt, eingeschlossen ist, und strömt durch d nach dem Brenner. Der Regulator wird durch Öffnen oder Schließen der durch die Stopfbüchse r führenden Schraube p eingestellt. Dreht man diese Schraube nach rechts, so dringt ihre Spindel in das in dem Rohransatz O befindliche Quecksilber und verdrängt eine geringe Menge, wodurch das Quecksilber in A einen höheren Stand einnimmt. Umgekehrt tritt Quecksilber bei Linksdrehung der Schraube zurück. Wenn sich das Quecksilber ausdehnt, so wird es im ersten Falle kürzer, im zweiten länger dauern, bis es die schräge abgeschnittene Öffnung des Gaszuströmungsrohres ganz verschlossen hat. Das Verschließen oder Freigeben der Gasausströmungsöffnung erfolgt jedoch nicht plötzlich, sondern wegen seiner konischen Gestalt und der schrägen Fläche wird der Gasaustritt nur nach und nach kleiner oder größer. Steigt aber die Temperatur im Innern des Brutkastens so hoch, daß diese Öffnung ganz von dem sich ausdehnenden Quecksilber verschlossen wird, so würden die Heizflammen erlöschen. Um dies zu verhindern, setzt sich das Rohr B in das nach abwärts gebogene Rohr b fort, dieses endet in den Glashahn c, welcher eine enge Bohrung in der aus der Zeichnung ersichtlichen Weise trägt. Mithin kann, wenn dieser Hahn geöffnet ist, stets eine kleine Menge Gas nach d gelangen, die hinreicht, um die Brenner zu speisen, jedoch nicht genügt, um die Temperatur im Thermostaten zu hoch zu treiben.

Die Temperaturen, bei welchen die verschiedenen Mikroorganismen am besten sich zu entwickeln vermögen, liegt innerhalb sehr weiter Grenzen. Um daher für alle oder doch für ziemlich viele Fälle gerüstet zu sein, hat Panum einen Thermostat konstruiert, der einerseits mit warmem Wasser, dessen Temperatur durch einen Regulator konstant erhalten wird, anderseits mit Eis gefüllt ist. Zwischen diesen beiden Extremen werden sich daher alle Zwischentemperaturen ermitteln lassen. Die Einrichtung dieses Panumschen Thermostats zeigt Fig. 26, wie er im Carlsberger Laboratorium verwendet wird. In seinem Werke „Die Gärungsorganismen“ beschreibt ihn Klöcker mit folgenden Worten:

Dieser Thermostat besteht aus drei zusammengelöteten

Metallkästen, welche in der beigegebenen Abbildung mit den Buchstaben A, B—C und D bezeichnet sind. Die Ursache, daß es nicht ein in drei Teile geteilter Kasten ist, ist die, das A und D mehr als der in der Mitte befindliche Kasten B—C einer Reparatur ausgesetzt ist. Erstere sollen deshalb von letzterem getrennt werden können. Das innere Maß jeder der Abteilungen A, B, C und D beträgt zirka 63 Zentimeter in der Höhe, Breite und Tiefe. Die erste Abteilung (A) ist doppelwandig und aus verzinntem Kupfer; der Zwischen-

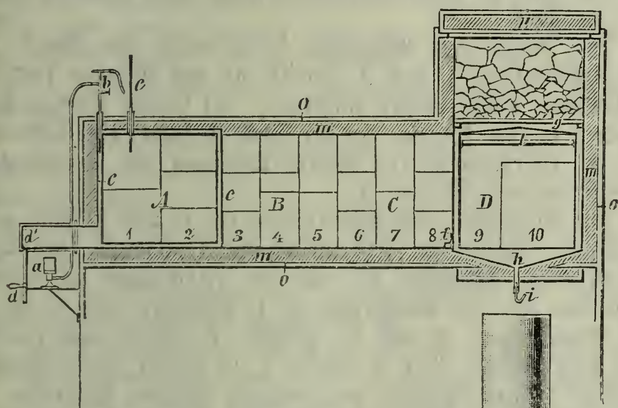


Fig. 26. Schnitt durch den Thermostat von Panum. Nach Klöcker. Beschreibung siehe Text.

raum (c) zwischen den Wänden ist mit destilliertem Wasser gefüllt, das auf der gewünschten Temperatur mit Hilfe einer Gaslampe (a) gehalten wird; die Gasflamme wird mittels eines Regulators (b) reguliert, der durch eine rohrförmige Öffnung in das Wasser ragt. Diese Gaslampe ist unter einer flügelförmigen Verlängerung (d') des äußersten Kupferkastens aufgestellt; dieser Flügel ist ebenfalls verzinnt und außerdem mit Asbestpappe bekleidet, ausgenommen den über der Lampe stehenden Teil, woselbst noch eine Kupferplatte aufgelötet ist. Da der Flügel im Laufe der Zeit durchgebrannt werden kann, ist er, um ersetzt werden zu können, nicht in fester

Verbindung mit dem äußeren Kupferkasten, sondern an letzterem mit Hilfe von Schrauben und Flanschen, zwischen welchen eine Gummipackung angebracht ist, festgemacht.

Oben in der Abteilung A befindet sich ferner eine andere rohrförmige Öffnung (die nicht auf der Figur sichtbar ist) vor derjenigen, in welcher der Regulator sitzt und durch welche ein Thermometer in das Wasser taucht, um die Temperatur des letzteren zu messen. Das Auffüllen des Wassers geschieht durch die eine der genannten zwei Öffnungen; ein eventuelles Ablassen kann mittels des an dem Flügel befindlichen Hahnes (d") geschehen.

Der Raum der Abteilung A ist durch eine Wand in zwei Abteilungen, 1 und 2, geteilt; an den Wänden sind in verschiedener Höhe Leisten angelötet, auf welche Bretter lose aufgelegt werden können. In der Decke ist ferner eine Öffnung für ein Thermometer (e) behufs Ablesung der Temperatur der Luft in dem Raume A.

Die folgenden zwei Abteilungen B—C und D sind aus verzinntem Eisenblech, das in D und C überall sorgfältig mit Mennige gestrichen ist, um der Feuchtigkeit zu widerstehen, die von der Abkühlung in D herrührt. B—C ist in zwei Abteilungen, B und C, geteilt; B und C sind wieder in je drei Räume (3, 4, 5 und 6, 7, 8) geteilt, deren Wände ebenfalls Leisten tragen, um mehrere Etagen herstellen zu können. Alle diese sind aus verzinntem Eisenblech. In dem Raume C 8 ist ferner nach unten an der Wand gegen D ein schräger Blechstreifen (f) angelötet, damit das an dieser Wand sich bisweilen bildende Kondensationswasser über diesen Blechstreifen und schließlich in einem darunter angebrachten langen und schmalen Kasten laufen kann.

Die letzte Abteilung (D) ist der Eiskasten. Er besteht aus einem äußeren und einem inneren Behälter; letzterer wird dadurch abgekühlt, daß das Schmelzwasser einer auf einem soliden Roste (g) aufliegenden Eismenge über dasselbe nach unten rieselt. Um das Wasser zu verteilen, ist die Decke des inneren Behälters nach beiden Seiten und nach hinten hin schräg abgedacht. Der Ablauf des Wassers geschieht nach unten durch die Öffnung h; in derselben befindet sich ein

Kork, in dessen Bohrung ein gebogenes, als Wasserverschluß dienendes Rohr (i) angebracht ist; das Wasser wird in einem darunter aufgestellten Eimer (k) aufgefangen. Der Kork muß täglich herausgenommen und von Unreinigkeiten, die von dem Eise herrühren, gereinigt werden. In D 9 ist nach oben ein beweglicher Kasten (l) angebracht, in welchem das Kondensationswasser aufgenommen und entfernt wird.

Die drei beschriebenen zusammengelöteten Metallkästen sind von einem schlechten Wärmeleiter, nämlich von einer aus Filzplatten bestehenden, 8 Zentimeter dicken Schicht (m) umgeben, und zwar oben und unten an der Rückseite und an den beiden Enden. Diese Filzschicht ist ferner von einem dichten, mittels Schrauben zusammengehaltenen Holzkasten umschlossen (o).

Der Eisbehälter ist mit einem eisernen Deckel und über letzterem mit einem Holzdeckel (p), der mit einer 8 Zentimeter dicken Filzschicht versehen ist, geschlossen. Um leichter diesen Deckel öffnen und schließen zu können, ist er mit einem an einer Schnur hängenden Gegengewicht versehen. Letztere geht über einen Flaschenzug, der an der Wand des Zimmers hinter dem Thermostat angebracht ist.

Jeder der Räume 1 bis 8 ist mit einer dicht schließenden Glastür versehen, und vor jeder der vier großen Abteilungen (A, B, C und D) sind ferner Türen aus Eisenblech angebracht, welche gegen einige an den Scheidewänden angebrachte Gummileisten stoßen, um dicht zu schließen. Vier entsprechende, auch dicht anschließende Holztüren sind an den Holzkasten festgemacht, deren Innenseite mit Wollkissen bekleidet sind. Alle diese Türen besitzen ihre Angeln an der unteren Seite, so daß sie, wenn sie geöffnet sind, einen Tisch bilden, in dem sie in horizontaler Stellung auf einigen ausziehbaren Trägern ruhen.

Der Raum unter dem Thermostat wird als Schrank benutzt.

Ist der Apparat im Gang und der Regulator auf z. B. 40° C eingestellt, so wird im Raume 1 diese Temperatur herrschen, während in 9 nur einige Grade über 0° sein werden. In den zwischenliegenden Räumen befindet sich dann

ein großer Teil der zwischenliegenden Temperaturgrade. In den einzelnen Räumen differiert die Temperatur von Wand zu Wand, ebenso wie auch der obere Teil des Raumes wärmer als der untere ist.

Ist die Temperatur in dem Zimmer, worin der Thermostat aufgestellt ist, ziemlich hoch, was z. B. während des Sommers geschehen kann, so wird es bisweilen schwierig sein, eine hinlänglich niedere Temperatur in der kalten Abteilung des Thermostats zu erzielen. Man stellt dann in D einen kleinen eisernen Kasten (10) mit einem Eisbehälter; dadurch wird die Temperatur des ganzen Thermostats erniedrigt und man bekommt gleichzeitig einen Raum mit einer besonderen niedrigen Temperatur.

3. Methoden der Reinkultur.

In einer durch Luftinfektion in Gärung übergegangenen Flüssigkeit oder einer solchen, die nicht mit einer Reinkultur angestellt wurde, finden sich naturgemäß die verschiedenartigsten Mikroorganismen, Hefen, Schimmelpilze und Bakterien vor. Soll nun eine Reinkultur eines bestimmten, in einer solchen Flüssigkeit vorhandenen Mikroorganismus durchgeführt werden, so ist es nötig, alle anderen fremden Organismen mit vollster Sicherheit auszuscheiden. Dies ist nur dadurch möglich, daß man von einer einzigen Zelle ausgeht, diese vermehrt und gleichzeitig die Kultur vor Infektionen, d. i. vor der Verunreinigung mit anderen Mikroorganismen schützt. Außerdem müssen alle uns zu Gebote stehenden Mittel angewendet werden, um die Reinkultur zur bestmöglichen Entwicklung zu bringen. Mittel dieser Art sind die Verwendung zusagender Nährböden und günstiger Temperaturen.

Der Schwerpunkt liegt natürlich immer in dem Ausgangspunkte, in der Zelle, welche bestimmt ist, die Mutterzelle von Milliarden neuer Individuen zu werden. Handelt es sich um die Reinkultur verhältnismäßig großer Gebilde, wie von Hefe oder Schimmelarten, so ist die Aufgabe nicht zu schwierig, weil man diese Organismen leicht beobachten und in ihrer Entwicklung verfolgen kann. Weit schwieriger ist dagegen die Sache, wenn es sich um Bakterien handelt, doch ist es eben-

falls gelungen, die Methoden so zu verbessern, daß sich auch hier mit großer Wahrscheinlichkeit und Sicherheit Erfolge erzielen lassen.

Die ältesten Verfahren — oder richtiger Versuche — zu Reinkulturen zu gelangen, sind die

physiologischen Methoden.

Die physiologischen Methoden beruhen darauf, daß man es dem Kampfe der Organismen untereinander überläßt, sich zu unterdrücken, bis schließlich eine Art die Oberhand gewinnt. Unterstützt wird dieser Vorgang durch Anwendung entsprechender Zusätze zu den Nährflüssigkeiten, wodurch jene Art, auf deren Reinzüchtung man hinarbeitet, nicht oder günstig beeinflußt, die andere dagegen geschädigt wird.

Die schon an früherer Stelle (siehe S. 230) besprochene Weinsäuremethode Pasteurs ist ein typisches Beispiel für diese physiologischen Methoden. Wir haben aber auch dort schon gezeigt, wohin dieses Verfahren unter Umständen führen kann. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt vor allem darin, daß man von einem ganz unbekannten Material ausgehen muß, dessen einzelne Komponenten man nicht kennt. Dadurch wird es im besten Falle dem Zufall überlassen, selbst eine Auswahl zu treffen, die aber durchaus nicht dem Zwecke der Züchtung zu entsprechen braucht.

Die Unsicherheit, welche den physiologischen Methoden anhaftet, hat daher bald dazu geführt, sie als eigentliche Reinzuchtmethoden ganz aufzulassen, dafür können sie aber unter Umständen als Vorbereitung für die Reinkultur dienen. Dies ist dadurch möglich, weil sie ein Mittel bilden, die Entwicklung einer bestimmten Gruppe von Arten besonders zu begünstigen. In einem Gemenge von Hefen und Bakterien kann man ganz wohl durch Anwendung der Weinsäuremethode oder durch Kultur in einer flußsäurehaltigen Nährlösung bei niederer Temperatur die Bakterien unterdrücken, allerdings muß dann das resultierende Gemenge von Hefenrassen erst durch ein angemessenes Verfahren gesichtet und schließlich eine Zelle als Stammutter ausgewählt werden. Immer bleiben diese Verfahren aber im höchsten Grade unsicher und zu

einer Reinkultur im heutigen Sinne vermögen sie nie zu führen.

Verdünnungsmethoden.

Bedeutend bessere Resultate lassen sich mit den Verdünnungsmethoden erzielen, weil hier schon der Forderung, von einer einzigen Zelle auszugehen, entsprochen wird. Dies läßt sich in der Weise erreichen, daß man die Flüssigkeit, welche die Mikroorganismen enthält, so weit verdünnt, daß schließlich ein Tropfen der Flüssigkeit im Durchschnitte nur eine Zelle enthält, die dann weiter gezüchtet wird.

Pasteur hat schon — allerdings noch in recht unvollkommener Weise — eine Selektion durch Verdünnung oder richtiger Verteilung vorgenommen. Er verrieb trockene Hefe mit Gipspulver, so daß er einen ungemein zarten Staub erhielt. Dieser Staub ward von einem hohen Punkte in einem Raume mit ganz ruhiger und reiner Luft fallen gelassen, und während er sich nun verteilte und langsam zu Boden schwebte, wurden sterilisierte Kolben, die jedoch nach der Sterilisation verschlossen erkaltet waren, so daß im Innern ein luftverdünnter Raum entstand, geöffnet. Indem die Luft einströmte, war die Möglichkeit vorhanden, daß in einzelne der Kolben nur je eine Zelle eindrang. Die Mängel, welche diesem Verfahren anhängen, brauchen wohl nicht des näheren erörtert zu werden.

Lister hat dann von der eigentlichen Verdünnungsmethode zuerst Gebrauch gemacht. Er zählte die Anzahl Bakterien, die in einem kleinen Tröpfchen gesäuerter Milch vorhanden waren, unter dem Mikroskop und verdünnte dann ein gleich großes Tröpfchen mit so viel Wasser, daß er in jedem Tröpfchen der verdünnten Milch höchstens eine Bakterie im Durchschnitte vorfinden konnte. Mit je einem Tröpfchen der verdünnten Flüssigkeit wurden dann Gläser mit steriler Milch infiziert. Dieses Verfahren krankt aber an dem Übelstande, daß niemals die Sicherheit vorliegt, daß in jedem Tröpfchen tatsächlich nur eine einzige Zelle vorhanden ist. Das trifft selbst dann nicht mit Sicherheit zu, wenn man mit der Verdünnung noch weiter geht, wie es Lister auch

getan hat. Trotzdem dann von mehreren, mit je einem Tröpfchen versehenen sterilen Nährflüssigkeiten immer nur einige wenige die Entwicklung von Bakterien, die sich durch das Gerinnen der sterilisierten Milch kundgab, anzeigten, war immer die Möglichkeit vorhanden, daß gerade diese Gefäße doch zwei oder mehrere Organismen empfangen hatten. Für die Reinzüchtung von Bakterien besitzen wir heute auch in Burris Tuschmethode ein zuverlässiges Mittel, um diesen Zweifel mit vollster Bestimmtheit auszuschließen. Für Hefe hat E. Chr. Hansen dieses Verfahren weiter entwickelt und verbessert.

Auch Hansen ging davon aus, daß er durch Zählung die in einem Tröpfchen vorhandene Anzahl von Hefezellen ermittelte. Ein Tröpfchen von annähernd der gleichen Größe, das, wie z. B. die Zählung ergeben haben mag, 10 Zellen enthielt, wurde dann in ein bekanntes Volumen, etwa 20 Kubikzentimeter sterilisierten Wassers gebracht. Schüttelt man die Flüssigkeit gut um, so ist die Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß sich, so lange sich die Zellen nicht zu Boden setzen, in je 2 Kubikzentimeter Flüssigkeit je eine Hefezelle oder in jedem zweiten Kubikzentimeter je eine Hefezelle vorfinden wird.

Bringt man nun in 1 Kubikzentimeter dieser Flüssigkeit, die 20 Kubikzentimeter mißt und insgesamt 10 Zellen enthält, in 20 Kolben mit Nährlösung, so sollten sich theoretisch nur in 10 Kolben Kulturen entwickeln, die 10 anderen aber keimfrei bleiben. Dies wird nun allerdings nur ausnahmsweise zutreffen, wahrscheinlicher ist es vielmehr, daß mehr als 10 Gefäße keine Entwicklung zeigen, dafür aber in die übrigen mehr als eine Zelle geraten ist. Dies läßt sich hier aber erkennen. Stellt man nämlich die geimpften Kolben ruhig, nachdem sie kräftig geschüttelt wurden, hin, so werden die darin befindlichen Zellen zu Boden sinken, sich dort jedoch wahrscheinlich nicht dicht nebeneinander, sondern auf dem Boden des Kolbens verteilt lagern.

Jede Zelle entwickelt sich dann bald zur Kolonie, die sich durch das Auftreten eines mit freiem Auge wahrnehmbaren Hefefleckes zu erkennen gibt. Jene Kolben, an deren Boden nur ein solcher Fleck zu erkennen ist, haben demnach wahrscheinlich auch nur eine Zelle empfangen.

Robert Koch hat dann später an Stelle flüssiger feste Nährböden angewendet. Ein Tröpfchen der, wie eben beschrieben, verdünnten Kultur wurde in eben verflüssigte Gelatinenährlösung gebracht und darin durch Schütteln sorgsam verteilt. Dann wurde die Gelatine erstarren gelassen. Sie umhüllte nun die durch das Schütteln getrennten Keime, die sich dann zu Kolonien entwickelten. Eine Abart dieses Verfahrens ist die Plattenkultur, wobei die Gelatine vor dem Erstarren auf eine horizontal gelegte Glasplatte gegossen wird. Die sich entwickelnden Kolonien, die, wie mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann, je aus einem einzigen Keime hervorgegangen sind und deren Reinheit bei Bakterien an gewissen makroskopischen Merkmalen erkannt werden kann, lassen sich dann durch Überimpfen zur Herstellung neuer Plattenkulturen verwenden. Doch auch durch diese Verfahren ist der unumstößliche Beweis, daß die Kultur nur aus einer Zelle hervorgegangen ist, nicht erbracht, wenn dafür auch immerhin eine gewisse Wahrscheinlichkeit besteht. Erst dadurch, daß man von einer einzigen, unter dem Mikroskope beobachteten und genau bezeichneten Zelle ausgeht, kann auch der letzte Zweifel zerstört werden. Dieses Verfahren hat mit Hilfe von Böttchers „feuchter Kammer" Hansen zuerst zur Anwendung gebracht.

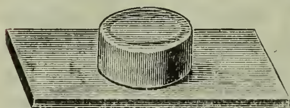


Fig. 27. Böttchers „feuchte Kammer".

Die „feuchte Kammer" besteht aus einem Glasringe, der (Fig. 27) auf dem Objektträger festgekittet ist. Auf den Boden dieser Kammer wird ein Wassertropfen gebracht, um die Luft feucht zu erhalten und das Vertrocknen der Kultur zu verhüten. Die Kultur wird auf einem Deckgläschen aufgetragen und dieses mit der Kultur nach abwärts, auf den Ring aufgelegt. Um das Verdunsten des Wassertropfens zu verhüten, wird der Rand des Ringes mit etwas geschmolzenem Vaselin bestrichen. Jörgensen hat die feuchte Kammer dadurch verbessert, daß er ein in Quadrate geteiltes Deckgläschen auf dem Glasringe festkittet und den Glasring auf dem Objektträger mit Vaseline befestigt. Wird die feuchte Kammer

geöffnet, so wird dann der Ring samt dem Deckglas abgehoben, was einfacher und sicherer ist.

Zur Auswahl einer Hefezelle für die Reinkultur mit Hilfe der feuchten Kammer wird in der Weise verfahren, daß auf das Deckgläschen ein Tröpfchen Würzegelatine, in der die Zellen verteilt sind, aufgetragen und zu einem dünnen Überzuge ausgebreitet wird. Unter dem Mikroskope läßt sich dann beobachten, ob nicht zu viele Zellen vorhanden und ob diese soweit voneinander entfernt liegen, daß jede sich aus einer Zelle entwickelnde Kolonie als Reinkultur zu betrachten ist. Mit Hilfe des an dem Mikroskop anzubringenden Objektmarkierers bezeichnet man dann die Stelle, an der gut isolierte Zellen liegen oder man bestimmt diese Orte genau mittels des in Quadrate geteilten Deckgläschens, eventuell unter Anfertigung einer Skizze. Der Objektmarkierer wird an Stelle des Objektivs am Mikroskope befestigt. Er besitzt an Stelle der Frontlinse eine Öffnung, die eingefärbt und vorsichtig auf das Deckgläschen niedergelassen wird, wo sie einen farbigen Kreis um die zu markierende Zelle abdrückt. Damit bei dieser Operation das Deckgläschen nicht zerbrochen wird, ist der Objektmarkierer leicht nach oben und unten beweglich. Einfacher läßt sich die Markierung mittels einer gewöhnlichen Schreibfeder und Tinte ausführen.

Die, wie beschrieben, vorbereitete feuchte Kammer, in der die isoliert liegenden Zellen genau bezeichnet wurden, wobei nicht unterlassen werden darf, das Gelatinehäutchen auch nach der Tiefe zu durchsuchen, wird dann unter einer feucht gehaltenen Glasglocke oder im Brutkasten bei mäßiger Temperatur aufgestellt, bis sich die einzelnen Zellen zu Kolonien entwickelt haben und genügende Größe erreichten. Dann wird die feuchte Kammer geöffnet und nun die Kolonie, die sich unzweifelhaft nur aus einer einzigen Zelle entwickelt hat, in Kolben mit Nährlösung abgeimpft. Während des Abimpfens besteht allerdings wieder die Gefahr einer Infektion von außen, doch kann dies durch rasches Arbeiten und durch Anwendung eines kleinen Kastens mit Glaswänden, der so groß ist, daß er die Apparate und die Hände des Arbeitenden aufzunehmen vermag und dabei gegen das Hineinfallen

von Keimen aus der Luft Schutz gewährt, sehr verringert werden.

Zur Reinzüchtung einer Hefe aus der Praxis — Brauerei-, Brennerei-, Weinhefe usw. — muß man kräftige Zellen in die in der feuchten Kammer befindliche Gelatine einführen. Wie Jörgensen in seinem Werke „Die Mikroorganismen der Gärungsindustrie“ ausführt, werden nach Untersuchungen von Holm in diesem Falle nur durchschnittlich 4 Prozent der ausgesäten Zellen keine Entwicklung geben; von einer Hefevegetation, welche am Schluß einer Gärung entnommen wurde, wo also die Zellen abgeschwächt sind, werden dagegen beinahe 25 Prozent der Zellen in der Gelatine nicht zur Entwicklung gelangen. Im allgemeinen wird es vorzuziehen sein, eine kleine Durchschnittsprobe der Hefe in Würze oder Most einzuführen und dann zur Reinzüchtung in der Kammer die ganze junge Vegetation — nämlich jene, welche sich entwickelt hat, wenn die allerersten Spuren einer Gärung zum Vorschein kommen — zu benutzen. Ob von einer oder der anderen Art von Hefe eine Reinkultur zu irgend einem industriellen Zweck angewendet werden soll, so muß immer eine größere Anzahl von Zellen ausgeschieden werden, wie dies schon im Jahre 1885 von Jörgensen betont wurde; denn von einer vorherrschenden Art oder Rasse, von welcher man ein beliebiges Individuum wählen könnte, weil dieselben alle gleich seien, kann nach jahrelangen Erfahrungen nicht die Rede sein. Der einzelne Typus oder die Art faßt in sich so viele Varietäten, welche bei der Entwicklung der Hefe unter den in der Praxis bestehenden Verhältnissen entstanden sind, daß darunter eine sorgfältige Wahl vorgenommen werden muß. Nur ein gründliches Studium dieser Varietäten des Typus durch experimentelle vergleichende Versuche wird zur Darstellung von Kulturen mit höchst wertvollen Eigenschaften für die Praxis führen können.

Eine Abart des Brefeldschen Kulturverfahrens im „hängenden Tropfen“ ist die von P. Lintner 1893 beschriebene „Tröpfchenkultur“. Er trägt mit Hilfe einer Zeichenfeder sehr kleine Tröpfchen einer entsprechend verdünnten Würzekultur auf das Deckglas einer feuchten Kammer

auf. Es ist darauf zu sehen, daß die Verdünnung soweit getrieben ist, daß sich in jedem Tröpfchen womöglich nur eine einzige Zelle befindet. Auf dem Deckgläschen werden dann jene Tröpfchen, die tatsächlich nur eine Zelle enthalten, in entsprechender Weise, etwa durch Tintenpunkte markiert. Jene Tröpfchen, die nur eine Zelle enthielten, werden dann, wenn sich die Kolonie genügend entwickelt hatte, abgeimpft.

Die Lintnersche Tröpfchenkultur kann natürlich auch zur Reinzucht von Bakterien angewendet werden, wurde jedoch zu diesem Zwecke von Burri durch die Verwendung von flüssiger Tusche als Einbettungsmedium und Auftragen des passend mit Tusche verdünnten Untersuchungsmaterials verbessert. Zu diesem Zwecke wird gewöhnliche Tusche im Verhältnis von 1:10 verdünnt, sterilisiert und mit dem Bakterienmaterial geimpft; schließlich wird sie so stark verdünnt, daß kleine Tröpfchen von 0·1 bis 0·2 Millimeter Durchmesser nur je eine Zelle enthalten. Mit Hilfe einer Zeichenfeder werden dann solch kleine Tröpfchen auf eine dünne Schicht Nährgelatine gebracht und mit einem Deckgläschen bedeckt. Man erzielt dadurch scharf hervortretende Bilder von Bakterien und kleinstem Detritus im eingetrockneten Tuschetröpfchen, wodurch die Abimpfung und Weiterzüchtung der deutlich erscheinenden Mikroben wesentlich erleichtert wird. Auch die sonst nur durch umständliche Färbemethoden sichtbar zu machenden Geißeln 2c. treten bei dem Tuscheverfahren ohne weitere Vorbereitung leuchtend hervor. Durch die Tusche werden die Mikroorganismen in keiner Weise ungünstig beeinflußt, das Verfahren, welches auch zur Züchtung anaerober Organismen benutzt werden kann, wurde von Burri in seinem Werke „Das Tuscheverfahren als einfaches Mittel zur Lösung einiger schwieriger Aufgaben der Bakterioskopie (absolute Reinkultur, Spirochaetennachweis 2c.)“ 1909, eingehend beschrieben.

Während die Reinkultur von Hefezellen ihrer Größe wegen verhältnismäßig leicht durchzuführen ist, bereitet jene von Bakterien — wie schon angedeutet wurde — weit größere Schwierigkeiten. Zur Vorbereitung der Züchtung wird sich hier in vielen Fällen die physiologische Methode

empfehlen, des weiteren wird jedoch vor allem die von Robert Koch zu diesem Zwecke ausgebildete Plattenkultur in Betracht kommen. Dann wird in der Weise vorgegangen, daß man die Kulturen von einer Platte auf die andere überträgt, wobei man stets nur von einer auf der Platte entwickelten Kolonie ausgeht, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit als aus einer Zelle hervorgegangen angesehen werden kann. Je öfter man diese Übertragung wiederholt, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, wirklich zu einer Reinkultur zu gelangen, außerdem gibt das Aussehen der Kolonien und natürlich auch die direkte Beobachtung der Organismen unter dem Mikroskop Anhaltspunkte, ob man es mit einer Reinkultur zu tun hat oder nicht.

Auch die Reinkultur von Schimmelpilzen wird in ähnlicher Weise wie die der Hefe durchgeführt, nur geht man hier von einer einzelnen Spore oder einer Konidie aus. Man verteilt dann die Sporen oder die Konidien in einer Nährlösung oder stellt Plattenkulturen her.

Die Aufbewahrung von Reinkulturhefen zu dem Zweck, um sie am Leben zu erhalten und nach Bedarf stets wieder weiter züchten zu können, geschieht am besten nach dem von Hansen angegebenen Verfahren. Dies besteht darin, daß man die Hefe in eine 10prozentige Rohrzuckerlösung bringt. Man verfährt dazu folgendermaßen: Die aufzubewahrende Hefenart wird in Würze übertragen und hier durch Vermehrung bei einer Temperatur von 25° eine kräftige Vegetation geschaffen. Nach 24 Stunden wird die vergorene Würze vollständig von der Bodensatzhefe abgegossen und unter Anwendung der bekannten Vorsichtsmaßregeln eine geringe Menge dieser in die sterilisierte 10prozentige Zuckerlösung eingetragen, worauf sie bei gewöhnlicher Zimmertemperatur aufgestellt wird. Zur Aufbewahrung benutzt man die nach ihren Erfindern benannten Freudenreich- oder Hansenkolben oder aber Pasteursche Kolben, deren Einrichtung wir im nächsten Teil dieses Abschnittes kennen lernen werden. Diese Kolben sind so eingerichtet, daß wohl ein Austausch der Gase möglich ist, jedoch Keime von außen nicht einzudringen vermögen und außerdem der durch Verdunstung der

Flüssigkeit verursachte Verlust äußerst gering ist. Auch die Aufbewahrung von Schimmelpilzen ist meist in der gleichen Weise während vieler Jahre möglich.

Sollen Bakterien aufbewahrt werden, so kann dies nur derart geschehen, daß man sie auf ihnen zusagenden Nährböden züchtet, sie jedoch von Zeit zu Zeit in angemessenen Zwischenräumen auf frische Nährböden überimpft. Nur dadurch lassen sie sich am Leben erhalten, während sie sonst durch ihre eigenen Stoffwechselprodukte bald getötet würden. Haben sie jedoch Sporen gebildet, so können sie dann meist im getrockneten Zustande lange Zeit aufbewahrt werden, weil, wie wir wissen, die Sporen der Bakterien ungemein widerstandsfähig sind.

4. Die Reinzucht der Hefe im großen.

Der Zweck der geschilderten Reinzuchtmethoden ist in letzter Linie — soweit es sich nicht bloß um wissenschaftliche Zwecke, sondern um ihre Verwertung für die Erfordernisse der Praxis handelt — den Gärungsgewerben vollkommen reine Kulturen bestimmter Rassen der Mikroorganismen in größeren Mengen zur Verfügung zu stellen. Wie wir gesehen haben, bildet den Ausgangspunkt eine einzige Zelle, die unter dem Mikroskop ausgesucht und dann fortgezüchtet worden ist. Doch handelt es sich, wie ja schon wiederholt betont wurde, nicht um die bloße zufällige oder rein mechanische Auswahl einer einzigen Zelle, sondern diese muß auch einer Rasse angehören, deren Eigenschaften den Anforderungen jener Gärungsindustrie, in der sie verwendet werden soll, entspricht. Als Ausgangsmaterial wird daher jene Hefe zu dienen haben, die sich in dem betreffenden Betriebe bewährte. Durch die Verdünnungsmethode wird dann diese Hefe in ihre einzelnen Komponenten zerlegt und darunter wird wieder jene Hefenart ausgewählt, welche den Zwecken am besten entspricht. Dies ist jedoch keine Arbeit, die jeder, der nur einigermaßen in mykologischen Arbeiten geübt ist, durchführen kann, sondern dazu gehört die größte Sachkenntnis, die Beobachtung zahlreicher biologischer Merkmale, die Durchführung von Gärversuchen usf. Sonst, wenn diese Momente außer acht gelassen

werden, könnte es sich ereignen, daß gerade eine minder taugliche oder eine ganz ungeeignete Rasse in Reinzucht vermehrt und schließlich in den Betrieb übergeführt wird.

Die Hefereinzucht ist besonders für die Zwecke der Spiritusfabrikation, Preßhefebereitung und Bierbrauerei heute auf eine sehr hohe Stufe entwickelt worden, doch auch auf dem Gebiete der Weinbereitung hat sie schon sehr gute Erfolge zu verzeichnen. Ferner wird auch eine Anzahl von Bakterien für bestimmte Zwecke rein gezüchtet, als typisches Beispiel dieser Art verweisen wir auf den Bacillus Delbrücki, der zur künstlichen Säuerung des Hefegutes dient.



Fig. 28. Pasteurscher Kolben, modifiziert von Hansen.

Den Ausgangspunkt für die Züchtung einer Hefe im großen bildet also eine Hefezelle, die wir in der „feuchten Kammer" ausgewählt haben und sich zu einer Kolonie entwickeln ließen. Diese Kolonie wird dann abgeimpft und in eine sterile Nährlösung, meist Würzegelatine, übertragen. Auf der Würzegelatine läßt man sie einige Tage sich entwickeln, dies hat den Zweck, etwa doch beigemengte fremde Organismen leichter zu erkennen, als wenn die Kolonie sofort in Würze gebracht wird. Ist sie als rein erkannt, so wird sie in einem mit steriler Würze beschickten Kolben von $1/_8$ bis $1/_4$ Liter Inhalt übertragen. Dazu benutzt man meist den Pasteurschen Kolben (Fig. 28), welcher in der ihm von Hansen gegebenen Modifikation folgende Einrichtung besitzt.

Ein Glasballon, dessen Fassungsraum $1/_8$ bis 1 Liter beträgt, ist in ein langes, nach unten verengtes Rohr ausgezogen, welches zweimal in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise umgebogen ist und beiläufig in der Mitte eine Erweiterung besitzt. Seitlich an der Wandung des Ballons ist ein kurzes, etwas nach aufwärts gerichtetes Rohr, der

Impfstutzen, angesetzt, welches mit einem Stück Kautschukschlauch verschlossen wird, in das ein an den Enden rundgeschmolzener Glasstab gesteckt wird. Der Boden dieses Kolbens ist meist gewölbt, sie werden daher in Ringe aus Kork oder Pappe gestellt oder in entsprechender Weise an Gestellen aufgehangen. Die zu impfende Flüssigkeit wird in dem Kolben selbst dadurch sterilisiert, daß man sie auf dem Sandbade zum Kochen erhitzt. Hat das Kochen ungefähr eine halbe Stunde gedauert, so wird der Impfstutzen mittels des Kautschukschlauches verschlossen, die Wasserdämpfe können dann nur durch das gebogene Rohr entweichen, das mithin ebenfalls sterilisiert wird.

Nach weiteren 20 Minuten Kochdauer ist nun die Sterilisierung beendet und man entfernt den Kolben vom Sandbade. Nun beginnt sich sein Inhalt abzukühlen, wobei gleichzeitig Luft eingesogen wird. Sie kann nur durch das gebogene Rohr zutreten, vermöge seiner eigentümlichen Biegung und der Erweiterung werden sich die in der Luft enthaltenen Keime in der untersten Biegung oder in der Erweiterung ablagern und nicht bis zu der Würze gelangen. Hier können die abgelagerten Keime auch leicht durch Ausglühen des Rohres getötet werden.

Der Impfstutzen dient einerseits zur Impfung des Kolbeninhaltes mit der aus einer Hefezelle entstandenen Kolonie, anderseits dazu, um ohne eine Infektion fürchten zu müssen, den Inhalt aus einem Kolben in einen anderen, größeren übertragen zu können. Zu diesem Zwecke müssen die Rohransätze aller in Verwendung stehenden Kolben den gleichen Durchmesser besitzen.

Um die Kulturen aus einem Kolben in einen anderen zu übertragen, muß man natürlich alle Vorsichtsmaßregeln anwenden, um eine Infektion zu verhüten. Man führt diese Arbeit entweder unter dem schon erwähnten Glasgehäuse aus, oder sterilisiert die der Luft ausgesetzten Teile an einer Flamme. Man geht dann derart vor, daß man die zu verbindenden Kolben mit gegeneinander gerichteten Impfstutzen aufstellt und zwischen sie einen Bunsenbrenner mit nichtleuchtender Flamme stellt; der die zu übertragende Kultur

enthaltende Kolben möge links vom Brenner stehen. Man öffnet nun das Rohr des linksstehenden Kolbens in der Flamme, indem man den aus Kautschukschlauch und Glasstäbchen bestehenden Verschluß rasch abzieht und den Rohransatz von der Flamme bespülen läßt. Darauf wird der Glasstöpsel aus dem Schlauche des rechtsstehenden Kolbens gezogen und das noch heiße Rohr des linken Kolbens in den Schlauch geschoben. Hat sich das Rohr genügend abgekühlt, so kann die Flüssigkeit umgegossen werden. Damit aber nicht durch das lange, gebogene Rohr Mikroorganismen mitgerissen werden, wird es vorher geglüht. Um nun beide Kolben wieder zu verschließen, wird in der gleichen Weise, nur umgekehrt verfahren, schließlich schließt man den linksstehenden Kolben wieder mit dem Schlauch in der Flamme. Zweckmäßig ist es, in das untere Ende des gebogenen Rohres etwas geglühten Asbest zu bringen, der die eintretende Luft filtriert.

Andere Kolben, die ähnlichen Zwecken dienen, sind die von Hansen, Freudenreich und Jörgensen angegebenen Konstruktionen, schließlich ist auch die Hennebergsche Modifikation des Pasteurkolbens zu erwähnen. Der Chamberlandkolben ist mit einer aufgeschliffenen Kappe verschlossen, die nach oben in ein kurzes, zu einer Spitze ausgezogenes Rohr übergeht, in dieses Rohr wird sterilisierte Baumwolle in dichter Lage gestopft, die als Luftfilter dient. Ähnlich ist die von Freudenreich angegebene Modifikation eingerichtet, nur hat er die Gestalt einer zylindrischen Flasche. Diese Kolben werden nur in keimfreien Kästen geöffnet und beschickt, weil hier die Sterilisation mittels einer Flamme nicht durchführbar ist. Der Hansensche Kolben unterscheidet sich vom Freudenreichkolben hauptsächlich dadurch, daß er auch einen seitlichen Ansatz trägt, der mit einem Asbeststöpsel verschlossen wird. Der Jörgensenkolben trägt in der Haube als unmittelbare Verlängerung des Filters ein kleines, enges, nach aufwärts umgebogenes Rohr. Vermöge seines geringen Querschnittes ist der Gasaustausch aus dem Innern des Kolbens in die umgebende Luft sehr gering und infolgedessen halten sich Flüssigkeiten in solchen Kolben viele Jahre,

ohne zur verdampfen. Man verwendet sie z. B. zur Aufbewahrung der Hefe in der 10prozentigen Zuckerlösung, ferner auch für Nährgelatinen, die an der Oberfläche nicht austrocknen und dadurch hart werden sollen. Der Hennebergsche Kolben unterscheidet sich vom alten Pasteurkolben dadurch, daß an die Stelle des zweimal gebogenen Glasrohres ein in ein Glasrohr eingeführter steriler Baumwollpfropf als Luftfilter tritt. Dieses Filter ist mit dem Kolben durch einen Kautschukschlauch verbunden.

In der Würze vermehrt sich nun bei Zimmertemperatur die Hefe sehr rasch, dies wird begünstigt, wenn man am ersten und zweiten Tage durch ein steriles Baumwollfilter Luft in den Kolben bläst. Ist die Vermehrung beendet, so wird die im Kolben vorhandene Hefe untersucht, ob sie tatsächlich rein ist und ferner müssen auch die Eigenschaften der gezüchteten Hefe durch eine Gärprobe festgestellt werden.

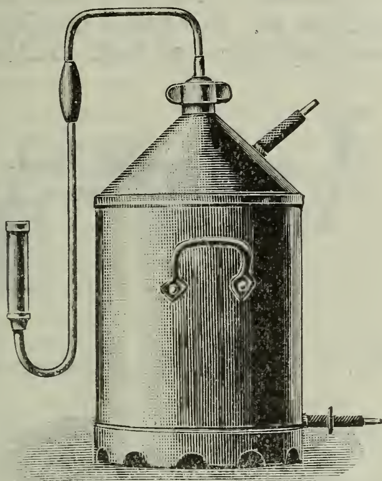


Fig. 29. Carlsbergkolben aus Metall, neue Form.

Um nun die als rein und brauchbar befundene Hefe weiter zu vermehren, wird sie in der geschilderten Weise in einen zweiten, größeren Kolben mit einem Fassungsraume von $^1/_2$ bis 1 Liter übergeführt, man gießt zuerst die vergorene Würze ab und läßt den Hefebrei überfließen. Aus diesem Kolben wird die Hefe dann entweder in den sogenannten Carlsberger Kolben oder in den kleinen, von Lintner konstruierten Reinzuchtapparat gebracht, wo sie sich weiter vermehrt.

Die Carlsbergkolben sind aus Metall verfertigt und besitzen einen Fassungsraum von rund 10 Liter, also für eine

Flüssigkeitsmenge, die nur schwer in einem Glasgefäße gehandhabt werden könnte. Wie Fig. 29 zeigt, befinden sich an diesem Kolben zwei Seitenrohre, von denen das eine oben, das andere unten, nahe dem Boden angesetzt ist. Vom höchsten Punkte des Gefäßes geht ein, ähnlich wie bei dem alten Pasteurkolben geformtes Metallrohr ab, welches zum Zwecke der leichteren Reinigung abgeschraubt werden kann. Das Rohr ist in der Mitte erweitert und trägt am Ende ein Filter, dieses besteht aus einem mit Asbest gefülltem Metallzylinder, der durch einen lose aufliegenden Deckel verschlossen ist. Die seitlich angefügten Rohre sind ebenso wie der Impfstutzen des Pasteurkolbens mit Kautschukschläuchen

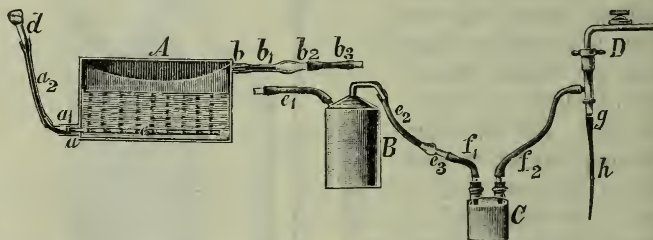


Fig. 30. Lintners kleiner Hefereinzuchtapparat. Beschreibung siehe Text.

und Glasstäben verschlossen. Das obere Rohr dient dazu, die Hefe in den Carlsbergkolben, der mit steriler Würze gefüllt ist, zu bringen, das untere wird zur Entnahme von Hefe benutzt.

Lintners kleiner Reinzuchtapparat (Fig. 30) gestattet eine Hefeproduktion bis zu 1 Kilogramm. Lintner beschreibt ihn in dem Werke „Die mikroskopische Betriebskontrolle in den Gärungsgewerben“ folgendermaßen:

Der Apparat setzt sich zusammen aus dem Zylinder A und dem Kolben B; als Ergänzung tritt noch hinzu die Wasserstrahlpumpe D und das doppelhalsige Gefäß C. In A werden zirka 50 bis 60 Liter Würze sterilisiert und nachher durch die in B vorrätig gehaltene Reinhefe zur Gärung gebracht. Durch die Verbindung von A mit B und von B mit C und D wird ein Durchlüften der Würze in A ermöglicht.

Bei ungenügendem Wasserdruck (wenn die Wasserhöhe 10 Meter Höhe nicht erreicht) ist die Wasserstrahlpumpe unwirksam und die Verwendung von Luftdruck, wie vielleicht durch einen kleinen Tretblasebalg geliefert wird, vorzuziehen. Letzterer würde dann links von A aufgestellt und durch einen Gummischlauch mit d verbunden werden müssen. Noch bequemer ist es, wenn man den Anschluß an eine Druckluftleitung ermöglichen kann. In Brauereien ist wohl zumeist ein größerer Windkessel vorhanden.

Um die in die Würze nach dem Sterilisieren einzublasende Luft keimfrei zu erhalten, verwendet man die dem Apparat beigegebenen Wattefilter. Dieselben sind in einem Ofen bei einer Temperatur von 150 bis 180° C während 2 Stunden sterilisiert worden. Sofern die Watte einen gelblichbraunen Anflug bekommen hat, ist man sicher, daß alle an ihr haftenden Keime getötet worden sind. Die Watte darf nicht zu fest, aber auch nicht zu locker gestopft sein. Die beiden Enden des Filters sind mit besonderen kleinen Wattepfropfen versehen, die vor dem Einführen des ersteren in den Gummischlauch herausgenommen werden. Das Filter d am Zylinder A muß nach jeder Gärung durch ein frisches ersetzt werden. Das zweite Filter e^3 am Kolben B braucht erst nach 6 bis 8 Wochen erneuert werden.

Das Gestell, auf welchem der Zylinder ruht, muß so gebaut sein, daß er bequem gerollt werden kann und daß Gasbrenner oder, falls Gas nicht zur Verfügung steht, ein kleiner Rost für Kohlenfeuer untergestellt werden können. Sehr zu empfehlen ist es, den Zylinder auf eiserne Träger, die in die Mauer eingesenkt und auf denen halbkreisförmig gebogene eiserne Bänder aufgeschraubt sind, zu legen. Um den Zylinder bequem tragen zu können, empfiehlt sich die Anschaffung von zwei Gurten aus Bandeisen, die oben an der Stelle, wo sie zusammengeschraubt sind, zwei Ösen tragen, durch die eine kräftige Holzstange gesteckt werden kann.

Es ist ratsam, den Apparat statt im Gärkeller in einem Zimmer aufzustellen, dessen Temperatur durchschnittlich etwa 12 bis 15° C beträgt, weil hier die Gärung schnell verläuft, und nach 5 bis 6 Tagen bereits Hefe gewonnen werden

kann. Unter Umständen wird man auch schon nach 1 bis 2 Tagen die eben in Kräusen gekommene Würze entnehmen und damit anstellen können.

Eine genauere Gebrauchsanweisung bezüglich Handhabung des Apparates ist von der Geschäftsstelle des Institutes für Gärungsgewerbe, Berlin N 65, erhältlich. Von derselben wird auch der Apparat geliefert. Am zweckmäßigsten wird derjenige, der sich einen solchen anschaffen will, sich dort die wichtigsten Handgriffe vorführen lassen. Nur aus den Büchern die Handhabung lernen zu wollen, ist zu umständlich, zeitraubend und zu unsicher. Dergleichen muß besser praktisch vorgeführt werden. Das gilt auch bei der Anschaffung größerer Reinzuchtapparate.

Zur weiteren Vermehrung der reingezüchteten Hefe dienen dann die großen Reinzuchtapparate, welche es ermöglichen, größere Mengen absolut reiner Hefe stets zur Verfügung zu haben. Es gibt gegenwärtig mehrere Konstruktionen solcher Apparate, die wichtigsten sind der zuerst von Hansen und Kühle gebaute Apparat, der große Lintnersche Hefereinzuchtapparat und der von Bergh und Jörgensen konstruierte Hefereinzuchtapparat. Diese Apparate besitzen die folgende Einrichtung.

Der von Hansen und Kühle gebaute Reinzuchtapparat ist die älteste Konstruktion dieser Art (Fig. 31). Lintner beschreibt ihn folgendermaßen:

Der Apparat besteht aus drei Abteilungen und den sie verbindenden Leitungsröhren: 1. Luftpumpe A mit Luftbehälter B, 2. Würzezylinder D, 3. Gärungszylinder C.

1. Die Luftpumpe wird mit Maschinenkraft getrieben und der Luftbehälter mit komprimierter Luft (3 bis 4 Atmosphären) gefüllt.

2. Den Würzezylinder sterilisiert man mittels heißer, gespannter Dämpfe von der gewöhnlichen Leitung der Brauerei und füllt ihn danach mit steriler Luft. Diese Luft kommt mit Druck von dem Luftbehälter und wird in einem Filter (eine Metallkapsel mit Baumwolle) gereinigt. Die Würze führt man in siedend heißem Zustande von der Hauptleitung des Sudhauses in den Zylinder. Die Abkühlung geschieht

durch Überrieselung mit kaltem Wasser; die für die Lüftung nötigen Luftmengen läßt man durch das Filter streichen.

3. Der Gärungszylinder wird in derselben Weise wie der Würzezylinder sterilisiert. Er hat ein ähnliches Filter, ein Glasrohr, um den Stand der Flüssigkeit beobachten zu können, einen Ausführungskanal für die entweichende Kohlen-

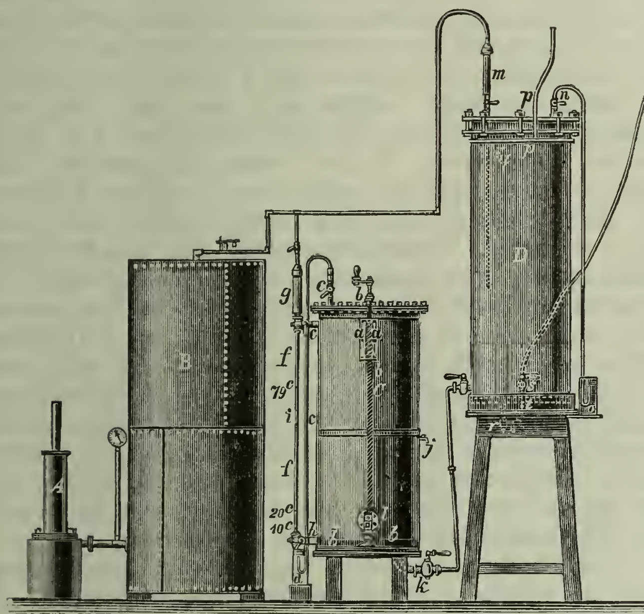


Fig. 31. Hefereinzuchtapparat nach Hansen und Kühle. Beschreibung siehe Text.

säure, einen Rührapparat, um die Hefe mit der Flüssigkeit mischen zu können, ein Röhrchen für die Einführung der Hefe und die Entnahme kleiner Proben. Die Hefe wird nur einmal zugesetzt; der Apparat arbeitet dann ein Jahr oder länger, wie man will. In bezug auf die Hähne ist nur zu bemerken, daß der Abzapfungshahn von eigenartiger Kon-

struktion ist; er ist nämlich so eingerichtet, daß die Flüssigkeit selbst die Reinigung besorgt, und daß keine Infektion von außen stattfinden kann.

Durch die die beiden Zylinder verbindende Leitung wird die Würze in den Gärungszylinder übergeführt. Sobald sie in die Nähe des Heferöhrchens gekommen ist, wird zugeschlossen, bis die Hefe zugesetzt ist, dann wird bis zu dem Markenstrich, welcher an dem oberen Teile des Glasrohres angebracht ist, angefüllt, herumgerührt und 220 Liter steriler Würze sind in dieser Weise mit absolut reiner Hefe in Gärung gebracht.

Etwa 10 Tage nachher wird das Bier abgezapft. Während des Abzapfens läßt man Luft durch das Filter streichen. Sobald etwas Schaum kommt hält man ein, läßt Würze zufließen, rührt um und nimmt von dieser Mischung von Würze und Hefe 27 Liter heraus. Aufs neue wird Würze zugegeben, abermals umgerührt und von der letzten Mischung 27 Liter genommen. Die Maße werden durch Teilstriche an dem Glasrohre angegeben. In den herausgenommenen 54 Litern hat man Stellhefe für 8 Hektoliter Würze; der Heferest in dem Zylinder genügt, um aufs neue 220 Liter in Gärung zu bringen, und so geht es dann unaufhörlich fort. Ein Gärungszylinder liefert folglich absolut reine Stellhefe für 24 Hektoliter Würze pro Monat; wünscht man es noch weiter zu treiben, kann man die Hefe vier-, statt dreimal des Monates herausnehmen und statt einem zwei oder mehrere Gärungszylinder aufstellen.

Bei der Anwendung des Apparates sind zwei Hauptpunkte zu bemerken: 1. daß die Dämpfung genügend ist, so daß die wirkliche Sterilisation stattfindet, und 2. daß während der Abkühlung und Abzapfung immer ein Überdruck steriler Luft in dem betreffenden Zylinder vorhanden ist. Wenn diese zwei Bedingungen erfüllt sind, kann keine Infektion, kein Einsaugen unreiner Luft stattfinden.

Am zweckmäßigsten wird es immer sein, wenn die betreffende Brauerei, die einen großen Reinzuchtapparat aufstellt, bei der Inbetriebsetzung einen Sachverständigen zuzieht, da eine Menge Kleinigkeiten zu beachten sind, die sich nicht alle beschreiben lassen.

Der große Lintnersche Reinzuchtapparat (Fig. 32) wird von Delbrück folgendermaßen beschrieben:

Der in der Abbildung dargestellte Hefereinzuchtapparat von Lintner (J) wird von der Firma F. W. Pest, Berlin N, gebaut. Er besteht aus dem großen Sterilisier- und Gärgefäß A und dem Hefegefäß B, beziehungsweise C. A ist ein kupferner Zylinder mit festem konischen Boden und abschraubbarem, flach gewölbten Deckel. In A mündet eine Anzahl Rohrleitungen, durch welche Luft, Würze, Wasser und Dampf zugeführt werden können. Auf dem Deckel ist das gebogene Abzugsrohr a angebracht, durch welches die Luft und die bei der Gärung entstehende Kohlensäure entweichen kann; b ist ein Wasserzuflußrohr, das innerhalb des Zylinders mit der Brause c endet.

Im Innern von A befindet sich ferner die Schlange d, durch welche man zwecks Erhitzung oder Abkühlung der Würze Dampf oder Wasser leiten kann.

Am unteren Teile des Zylindermantels ist das Ventil x angebracht, durch welches die vergorene Würze nach beendigter Gärung abgezogen wird. Der konische Boden mündet an der Spitze in ein größeres kreuzförmiges Rohrstück, das vier Hähne trägt. Durch m steht das Rohr in Verbindung mit der Würzeleitung, durch k mit der Dampfleitung. Die Seitenwände des Konus sind durch die drei Durchlüftungsrohre g^1, g^2, h durchbohrt, welche ein kurzes Stück in das Innere von A hineinreichen und dort knieförmig umgebogen sind. Ihre Öffnungen sind so gestellt, daß beim Durchlüften die Würze im Apparat sowohl an der Peripherie als in der Achse des Zylinders kräftig aufgewirbelt wird. h ist ein mit einem Dreiwegehahn versehener Stutzen, welcher sowohl mit der Leitung für Preßluft als auch mittels eines Gummischlauches p^2 mit dem Hefegefäß B oder der Trommel C verbunden werden kann. Die Rohre g^1, g^2 und h münden in das Rohr g, dessen Verlängerung das Würzestandrohr f und das Luftfilter n bilden. Die beiden Stutzen e^1, e^2 stellen die Verbindung des Würzestandrohres mit A her. Der Hahn o^2 ist durch einen Gummischlauch p^1 mit B verbunden. Der Hahn o^1 wird beim Ausdämpfen des Würze-

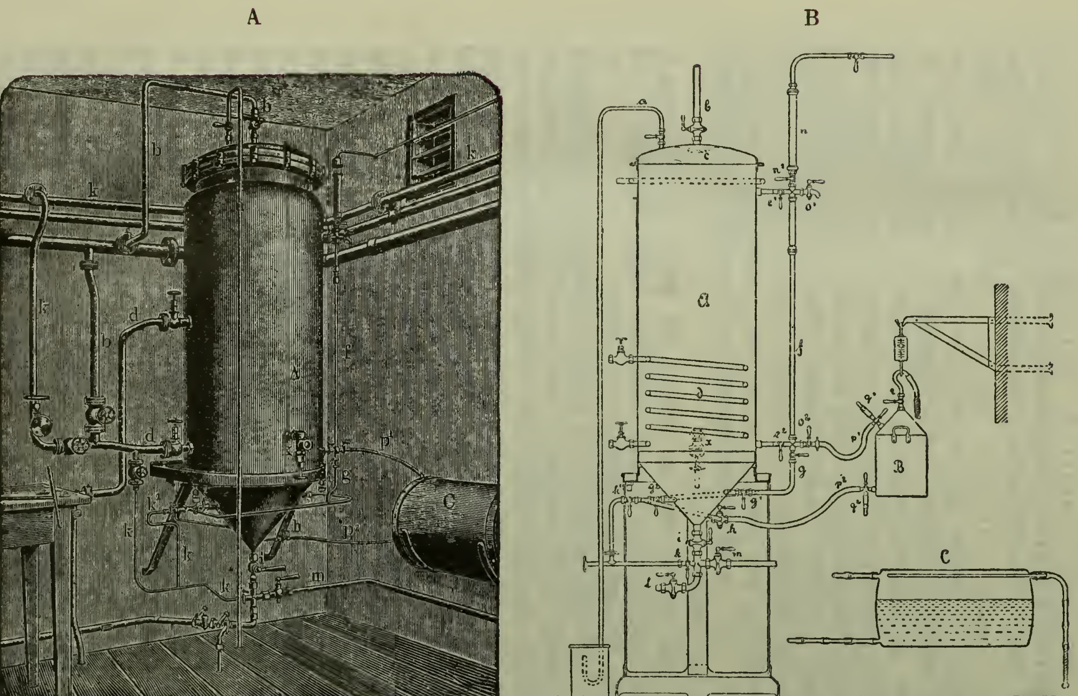


Fig. 32. Großer Hefereinzuchtapparat nach Lintner. A Ansicht; B Durchschnitt. Beschreibung siehe Text.

standrohres und der Rohre g, g^1, g^2 und h gebraucht. B ist ein Carlsberger Kolben. Durch den Stutzen q^1 kann die Einführung der Aussaathefe erfolgen. C ist ein größerer kupferner Behälter mit drei Stutzen, welcher an Stelle des Carlsberger Kolbens für die Herstellung größerer Aussaatmengen benutzt wird (Lintners „Kleiner Reinzuchtapparat", siehe S. 272).

Die Hähne bei q^1 und q^2 sind Dreiwegehähne. An dem gebogenen Rohre bei r sind ein Gummischlauch und ein kleines Luftfilter befestigt.

Die Handhabung des Reinzuchtapparates. a) Das Ausdämpfen. Zunächst werden die Hähne i und l geschlossen, die Hähne k und m geöffnet und der Dampf durch das Würzerohr m geleitet; m wird dann wieder geschlossen, i und a werden geöffnet. Das Ausdämpfen von A dauert ungefähr eine halbe Stunde, und es wird während dieser Zeit dafür Sorge getragen, daß durch alle Öffnungen und Rohrleitungen sowohl an A als auch an B oder C der Dampf zeitweise hindurchströmt. (Für den Fall, daß sich in B oder C schon Hefe befindet, läßt man den Dampf durch die Stutzen q^1 und q^2 entweichen.) Zuletzt bleiben noch a, n^1 und r geöffnet. Noch während bei n^1 etwas Dampf ausströmt, setzt man das Filter n auf. Der Hahn n^1 wird dann unmittelbar nachher geschlossen; kurz darauf wird auch der Gummischlauch an r mit einem kleinen sterilen Luftfilter versehen und der Hahn r ebenfalls geschlossen. Nun wird n^1 geöffnet und, während aus a noch Dampf austritt, wird Luft auf dem Wege $o^2 p^1 B p^2 h$ in den Apparat A geleitet. Allmählich wird die Dampfzufuhr durch k immer mehr verringert und k schließlich ganz geschlossen. Mittlerweile wird das Gefäß B bereits erkaltet sein. Man leitet nun die Luft auf einem anderen Wege in den Apparat A. Man schließt Hahn h und o^2 und öffnet e^1; die Luft tritt dann durch n^1 e^1 in den Apparat und entweicht durch a.

b) Das Befüllen des Apparates. Nach beendigter Sterilisation des Apparates kann derselbe mit Würze gefüllt werden. Vorher läßt man durch kurzes Öffnen von l das Kondensationswasser aus A ab; auch schließt man alle Hähne

am Apparat A außer a und i. Ist die Würze nicht so heiß, daß sie sicher als steril gelten kann, so kocht man sie im Apparat A nochmals auf, indem man durch die Schlange d Dampf leitet. Kurz nach Beginn des Kochens beginnt man die Würze zu durchlüften; gleichzeitig wird der Dampf abgestellt. Die Luft tritt ein auf dem Wege n, f, g, g^1, g^2 und h. So durchlüftet man ungefähr 1 Stunde lang, dann führt man die Luft nur noch oberhalb des Würzespiegels auf dem Wege n^1 e^1 in den Apparat A; die Würze kommt darauf in Ruhe; 1 Teil der in ihr vorhandenen Ausscheidungsstoffe setzt sich am Boden ab und kann durch ein kurzes Öffnen der Hähne i und l entfernt werden.

Nachher kühlt man bei gleichzeitiger Durchlüftung die ganze Würzemenge allmählich ab, indem man kaltes Wasser durch die Schlange d leitet. Die Luft wird hierbei wieder durch g, g^1, g^2 und h geleitet.

c) Die Aussaat der Hefe. Noch während die Würze abgekühlt wird, kann man B mit der Aussaathefe impfen. Der Impfkolben wird mit q verbunden und der Hahn r geöffnet, damit beim Übergießen der Hefe nach B die verdrängte Luft entweichen kann, q^1 wird zum Schluß vom Impfkolben wieder abgezogen und mit einem Metallstöpsel verschlossen.

Will man die Hefe von B nach A hinüberdrücken, so muß man den Weg o^2 B h offen halten. Während der Gärung bleibt B leer.

Nach dem Impfen mit Hefe durchlüftet man die Würze zeitweise, namentlich während der ersten Kohlensäureentwicklung. Später stellt man die Luft ganz ab.

d) Die Gewinnung der Hefe. Am Schluß der Gärung setzt man wieder Druckluft auf die Würze durch Öffnen des Hahnes e^1 und drückt die vergorene Würze durch das Ventil x aus dem Apparat. Sobald Schaum kommt, schließt man das Ventil.

Die zurückbleibende Würze nebst der Bodensatzhefe wird von unten durch Luft aufgewirbelt und zum Teil nach B gedrückt, zum Teil durch i und l abgelassen. Die nach B übergelaufene Menge kann annähernd abgeschätzt werden durch Aufhängen von B an einer Spiralfederwage. Durch Schließen

der Hähne q^1 und q^2 wird der Apparat B vom Hauptapparat abgeschlossen.

e) Reinigung und Wiederbefüllen des Apparates. Nach der Entleerung von A wird die Brause c in Tätigkeit gesetzt und der Wand- und Rohrbelag abgespült. Nachher wird mit dem Dämpfen und der Füllung des Apparates A in der vorher geschilderten Weise wieder begonnn.

Es sei noch erwähnt, daß durch Öffnen des Dampfhahnes k^1, sowie der Hähne g, o^1, o^2, q^1 und q^2 eine Sterilisation des Würzestandrohres f, sowie der Leitung g, p^1 und p^2 in einfachster Weise bewirkt werden kann.

Unter Umständen wird man davon Abstand nehmen, die Gärung in A bis zu Ende gehen zu lassen, um die Bodensatzhefe zu gewinnen und an deren Stelle die in voller Gärung befindliche Würze zum Anstellen benutzen. Die Entleerung kann hier auch durch i und l vorgenommen werden. Man behält dann nur so viel Flüssigkeit im Apparat B oder C zurück, als nötig ist, um für die nächste Beschickung des Apparates A die genügende Aussaathefe zu erhalten. Diesen Rest läßt man in B oder C zu Ende gären.

Bei der Impfung des Apparates kann man den Carlsberger Kolben B auch durch den kleinen Lintnerschen Reinzuchtapparat C ersetzen.

Eine andere Type des Reinzuchtapparates wurde von Bergh und Jörgensen konstruiert (Fig. 33). Jörgensen gibt folgende Beschreibung:

Die filtrierte Luft wird durch die Dreiweghähne bei A, B und C in die zwei Zylinder A und B geleitet. Der obere Zylinder faßt ungefähr 50, der untere 160 Liter. A ist mit einem Rührapparat (E), einem Rohr (a) zur Einführung der Hefe und zur Entnahme von Proben versehen. Das gebogene Rohr F ist Ablaufrohr für die Kohlensäure. Mittels des Rohres G P stehen die beiden Zylinder miteinander in Verbindung. Diese Verbindung kann mittels des Hahnes G geöffnet und geschlossen werden. H ist Ausfuhröffnung für das Spülwasser, wenn der Zylinder A gereinigt werden soll.

Der Zylinder B ist mit einem in zwei Teile geteilten gußeisernen Mantel umgeben; vermittels Wasser in dem

oberen Mantel kann die Würze abgekühlt und die Gärung geregelt werden; der untere Mantel wird als Dampfmantel verwendet, hat einen Hahn bei O zur Einführung und einen bei S zum Ausgang des Dampfes. M ist ein ringförmiges Rohr, mit kleinen Löchern versehen; es wird während der Abkühlung der Würze mit einer Kaltwasserleitung in Verbindung gesetzt. Das Wasser wird bei N abgezogen. Der Rührapparat J wird mittels eines Räderwerkes bewegt. Die Höhe der Flüssigkeit im Zylinder wird vermittels eines Schwimmers mit zugehörigem Zeiger und Bogen L bestimmt. Von dem Deckel geht das gebogene Rohr K aus. Der im Boden befindliche Hahn Q steht mit dem Leitungsrohr b (mit dem Hahn T) in Verbindung. Die beiden gebogenen Röhren münden in das mit Wasser gefüllte Gefäß R aus.

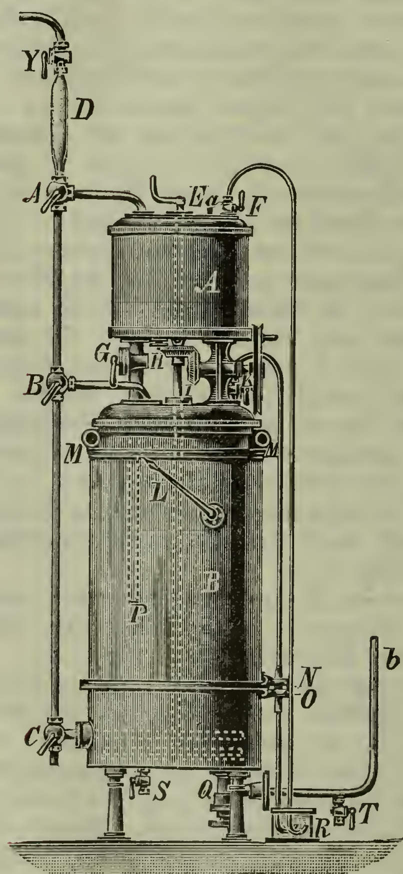


Fig. 33. Hefereinzuchtapparat nach Bergh und Jörgensen. Beschreibung siehe Text.

Die Würze wird in den unteren Zylinder eingeführt, wo sie in gewöhnlicher Weise behandelt wird. In den oberen Zylinder wird die Rein-

kultur eingeführt, welche dann durch ein wenig Würze in den unteren Zylinder geschwemmt wird, die aus diesem in den oberen Zylinder und dann wieder in B gedrückt wird. Wenn in letzterem eine kräftige Vermehrung der Hefe eingetreten ist, wird die Flüssigkeit durchgerührt, und ein Teil der gärenden Flüssigkeit wird in A aufgedrückt, um zu der nächsten Gärung verwendet zu werden. Der Zylinder B ist also abwechselnd Gärungs- und Würzezylinder.

Eine eingehende Anleitung zur Behandlung der bei der Darstellung der reinen Kultur im Laboratorium benutzten Apparate (feuchte Kammern und Kolben) sowie zur Handhabung der beiden Typen des Reinzuchtapparates findet sich in dem kleinen Handbuche Jörgensens: Die Hefe in der Praxis. Berlin 1901.

Modifikationen von beiden Reinzuchtapparaten wurden von Brown und Morris Elion, Thausing, Van Laer, Pohl und Bauer, Wichmann, Fernbach, Jacquemin u. a. gegeben; mehr abweichend sind die von P. Lintner und Marx konstruierten Apparate.

Zur Versendung von Reinkulturen konstruierten Hansen und Jörgensen besondere Kolben (Fig. 34 A und B), aus welchen die Hefe leicht und ohne bei richtiger Behandlung eine Infektion fürchten zu müssen, in die Gärungszylinder übergeführt werden kann. Zur Versendung kleiner Mengen von Reinkulturen benutzt Jörgensen die Hansenschen Kölbchen, in denen sich etwas sterilisierte Baumwolle befindet. In der geschilderten Weise werden diese Kölbchen mit dem Pasteurschen Kolben, welcher die Reinkultur enthält, verbunden und nun eine Spur Hefe auf die Baumwolle übertragen, dann wird das Kölbchen mit dem Asbeststöpsel verschlossen und die Öffnung mit einem Lack überzogen. Soll die Hefe vermehrt werden, so wird das Kölbchen wieder mit einem mit Würze gefüllten Pasteurschen Kolben verbunden und die Hefe in diesen gespült.

Reinzuchtapparate müssen — so sicher sie bei richtiger Behandlung auch arbeiten — doch fortlaufend einer Kontrolle unterzogen werden, damit sie nicht sich — wie van Laer sagte — zur Pandorabüchse herausbilden. Denn

da im Reinzuchtapparate der Verlauf der Gärung mikroskopisch nicht verfolgt werden kann und somit auch die Möglichkeit entfällt, daraus und aus dem Aussehen der Hefe auf

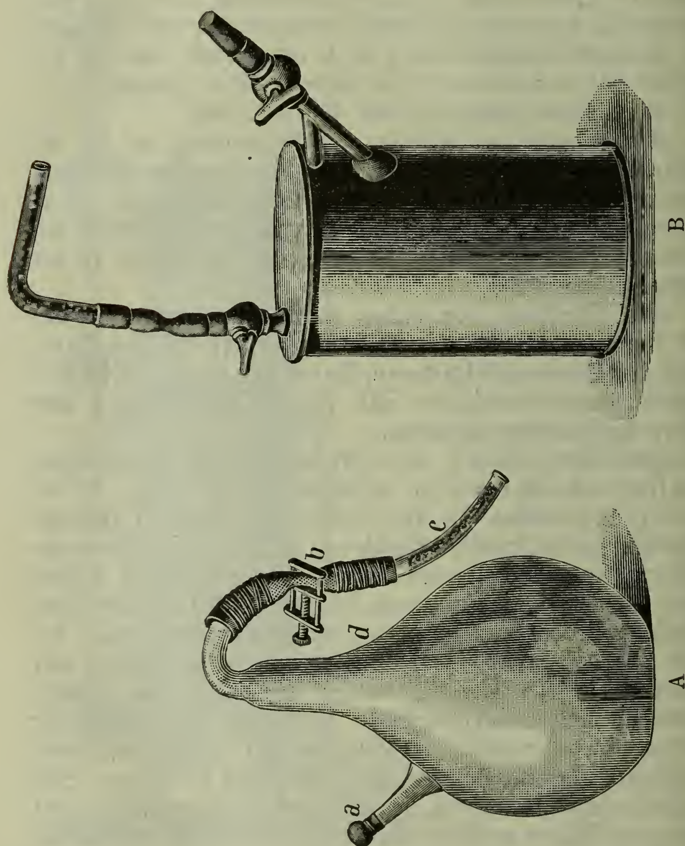


Fig. 34. Kolben zur Versendung von Reinkulturen im flüssigen Zustande. A nach Hansen; B nach Jörgensen. In A bedeutet a die Verschlußkappe. b Schlauch

die Reinheit der Gärung zu schließen, ist immer die Möglichkeit vorhanden, daß durch ein Versehen wilde Hefen oder Bakterien „reingezüchtet“ werden, die dann natürlich empfindliche Betriebsstörungen veranlassen würden.

Eine Kontrolle der Reinzuchtapparate ist nur durch entsprechende Probeentnahme, verbunden mit einer mikroskopischen Durchforschung der entnommenen Proben möglich. Der Hahn, durch den das Bier aus dem Reinzuchtapparat entleert werden soll, ist zuerst gründlich zu reinigen, weil sonst hier schon Infektionen stattfinden könnten, die ein ganz falsches Bild geben würden. Man füllt sterile Fläschchen an, und zwar nach Lintner eines mit dem zuletzt ablaufenden Biere, eines mit der mit frischer Würze angerührten Hefe. Von diesen Proben werden Tröpfchenkulturen angelegt und eine nach Möglichkeit große Anzahl der Zellen der Beobachtung unterzogen. Bemerkt man nichts Auffälliges, so wartet man mit dem gründlicheren Durchsehen bis zum nächsten Tage. Nach etwa 8 Tagen werden die Fläschchen abermals durchmustert und auf Gegenwart von Sarcina, Milchsäure- und Essigsäurebakterien, Kahmhefen 2c. geprüft, und zwar mittels einfacher mikroskopischer Präparate oder mittels der Tröpfchenkultur. Sollten sich dann solche Mikroorganismen zeigen, während die erste Tröpfchenkultur nichts Auffälliges ergeben hat, dann kann man nach Lintner sich damit zufrieden geben, daß die Infektion eben nur eine ganz minimale gewesen sein kann und noch keine Gefahr für den Betrieb bedeutet; die Warnung käme dann noch rechtzeitig genug. Lintner hat dieses Verfahren als genügend sicher befunden, seiner Einfachheit wegen verdient es auch unbedingt vor allen anderen komplizierteren Methoden den Vorzug.

Daß unter Umständen auch mehrere Hefenrassen, wenn sie gleichzeitig zur Wirkung gelangen, sehr gute Dienste leisten können, beweist die vom Institut für Gärungsgewerbe zu Berlin neben den Rassen II und XII (siehe S. 95) gezüchtete „Hefe M", welche eine Mischhefe ist. Als Aussaat zu ihrer Gewinnung dient in der Hefezuchtanstalt ein Gemisch von fünf im Laboratorium in Reinkultur gezüchteten Hefenrassen, von denen jede bei näherem Studium wertvolle Eigenschaften gezeigt hat. Nach Untersuchungen mehrerer Forscher, die gelehrt haben, daß unter Umständen eine Mischung mehrerer Hefenrassen mehr zu leisten vermag, als jede für sich allein, konnte angenommen werden, daß bei der Aussaat von fünf

Rassen eine oder einige sich unter den herrschenden Verhältnissen besonders günstig entwickeln und die anderen unterdrücken oder daß sie sich gegenseitig unterstützen und ergänzen werden. Die Hefe M war zunächst als Saathefe für Preßhefefabriken bestimmt, sie hat sich aber nach Delbrück auch vorzüglich in Dickmaischbrennereien bewährt. Sie leistet hier zwar anscheinend nicht mehr als Rasse II oder XII, steht diesen aber auch nicht nach und zeichnet sich durch sehr ruhige und gleichmäßige Gärung aus.

5. Die „natürliche Reinzucht".

Wird eine reingezüchtete Hefe als Stellhefe verwendet, so ist zwar eine wichtige Bedingung vorhanden, daß gerade diese Rasse sich nun kräftig vermehren und entwickeln wird, doch ob dies tatsächlich eintritt, hängt von verschiedenen Umständen ab. Wir dürfen nicht übersehen, daß die Hefe im Betriebe mancherlei Infektionen ausgesetzt ist, daß sie bald mit anderen Mikroorganismen zusammentrifft, die sie nachteilig beeinflussen vermögen, daß sie daher gezwungen wird, einen Kampf aufzunehmen, um sich die Oberherrschaft zu sichern. Dadurch, daß wir Reinhefe verwenden, daß wir von vornherein schon eine große Zahl anderer, wilder Hefen und Bakterien rc. ausscheiden, daß wir diese Hefe im kräftigsten Zustande verwenden, schaffen wir eine Bedingung, welche ihr den Sieg und die Erhaltung der Oberherrschaft wesentlich erleichtert und ihre ungestörte Entwicklung begünstigt. Durch besondere Maßnahmen kann und muß sie jedoch unterstützt werden, einerseits indem man nach Möglichkeit ihr zusagende Verhältnisse schafft, anderseits indem man trachtet, die allgemeinen Verhältnisse so zu gestalten, daß andere Organismen geschwächt, geschädigt, in ihrer Entwicklung gehemmt oder ganz unterdrückt werden.

Delbrück hat alle diese Bedingungen zusammengefaßt und die anzuwendenden Kunstgriffe als „System der natürlichen Reinzucht" bezeichnet und sowohl in besonderen Schriften, wie auch in seinem großen Werke „Handbuch der Spiritusfabrikation" ausführlich dargelegt. Wenn auch der Name

„natürliche Reinzucht" vielleicht nicht ganz glücklich gewählt ist, indem er leicht zu Mißdeutungen Anlaß bietet und vor allem einen Gegensatz zu der „künstlichen Reinzucht" zu konstruieren scheint — was durchaus nicht der Fall ist — so verdient doch dieses System der natürlichen Reinzucht die größte Beachtung und seine Bedeutung wird auch voll und ganz anerkannt. Denn im wesentlichen bedeutet es eine Zusammenfassung der für die Hefenrassen günstigen und ungünstigen Bedingungen, ihr Verhalten im Kampf um die Herrschaft, die Mittel, sie zu fördern und andere Mikroorganismen zu benachteiligen. Dieser Kampf muß in jedem Gärungsgewerbe geführt werden — und von seiner richtigen Leitung und Durchführung hängt vor allem das Ergebnis und schließlich die Rentabilität ab. Würde man sich bloß darauf beschränken, eine noch so ausgezeichnete Reinhefe zu verwenden, so würde sie doch bald verwildern oder im Kampf unterliegen, wenn eben nicht alle Hilfsmittel, die Delbrück in seinem „System der natürlichen Reinzucht" zusammengefaßt hat, zweckentsprechend angewendet werden.

Delbrück stellte in seinem „Handbuch der Spiritusfabrikation" die Grundsätze der Hefenbereitung nach der natürlichen Reinzucht folgendermaßen zusammen:

a) Die Hefe pflanzt ihre guten und schlechten Eigenschaften auf ihre Nachkommenschaft fort. Es gibt Hefenrassen, welche stark gärungserregend wirken, und andere, welche die Gärung nur im schwachen Maße erregen, solche, welche viel, und andere, welche wenig Alkohol vertragen; ferner gibt es Hefen, welche stark, und andere, welche nur schwach vermehrungsfähig sind, solche, welche gegen gärungsstörende Organismen mehr oder weniger empfindlich sind.

Wenn man auch durch geeignete Zuchtverfahren die untüchtigen Hefenrassen in der Regel ausscheiden kann, so soll man bei der Hefenbereitung doch nicht von einer beliebigen Hefenart ausgehen, sondern eine Reinkultur einer Hefenrasse oder ein Gemisch von reingezüchteten Hefen von bekannten ausgezeichneten Eigenschaften verwenden, um aus dieser Aussaat die Betriebshefe weiter zu züchten.

Der große Nutzen, ja die Unentbehrlichkeit der Reinhefe ist heute überall anerkannt.

b) Da im praktischen Betriebe nicht bei jeder neuen Aussaat der Hefe eine neue Reinkultur angewendet werden kann, so müssen bei der Weiterzucht der Hefe die Verhältnisse so gestaltet werden, daß die planmäßig eingeführte Hefenrasse die günstigsten Verhältnisse für die Erhaltung ihrer Art findet und etwa eingewanderte fremde Hefenrassen hierdurch unterdrücken kann (natürliche Hefereinzucht).

c) Die Hefe ist in ihrer Entwicklung auch gegen direkt feindliche Organismen zu schützen. Zu diesem Zwecke wendet man beim Maischen des Hefengutes so hohe Temperaturen an, daß die vorhandenen Keime nach Möglichkeit abgetötet werden, und unterdrückt die Vermehrung der eventuell noch lebensfähigen Keime durch Einführung giftig wirkender Stoffe. In hervorragendem Maße hat sich als solcher seit langer Zeit die Milchsäure bewährt; doch kommen auch andere Säuren, so die Flußsäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Buttersäure, Ameisensäure und andere Pilzgifte, wie z. B. Formaldehyd, zur Anwendung.

d) Die Ernährungsverhältnisse und die Führung des Hefengutes müssen so gestaltet sein, daß sich die fertige Hefe bei der Aussaat in die Hauptmaische in einem geeigneten physiologischen Zustande befindet. Die Kunsthefebereitung erfolgt in der Praxis in den folgenden Abschnitten:

1. Man bereitet aus süßer Maische unter Zusatz von Malz ein Hefengut mit den für eine kräftige Hefenvermehrung erforderlichen Nahrungsmitteln.

2. Man leitet in diesem Hefengute zum Schutz der Hefe gegen gärungsstörende Organismen eine kräftige Milchsäuregärung ein oder führt geeignete Mengen anderer antiseptisch wirkender Mittel, wie Flußsäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Formaldehyd usw. ein.

3. Man sät in dieses saure Hefengut, nachdem es auf eine zweckmäßige Temperatur abgekühlt ist, zur Vermehrung eine „Mutterhefe“ aus.

4. Nach Vermehrung der Hefe und gegen Ende einer lebhaften Gärung, bei welcher reichliche Mengen Alkohol

gebildet werden, entnimmt man für die nächste Hefenbereitung wieder eine gewisse Menge Mutterhefe.

5. Der Rest der fertigen Hefe wird der großen Maische der Brennerei zugesetzt, und zwar nach den Regeln der natürlichen Reinzucht direkt, ohne sie vorher mit süßer Maische oder saurem Hefengut aufzufrischen.

Diese Leitsätze Delbrücks fassen tatsächlich das Gesamtgebiet der für die Hefeführung in der Praxis wichtigen Momente so klar und übersichtlich zusammen, daß ihre Richtigkeit und absolute Zuverlässigkeit ohne weiteres hervortritt. Freilich darf man — weil eben, wenn man sich das an früherer Stelle über die Lebensbedingungen der Hefe, ihre Lebensweise, ihre Enzyme ꝛc. Gesagte vergegenwärtigt, dies so einfach und natürlich erscheint — die Tragweite der Delbrückschen Lehren nicht etwa unterschätzen. Ihr hoher praktischer Wert liegt eben darin, daß Delbrück diese zahlreichen, hier in Betracht kommenden Momente mit klarem Blick überschaut und in einer der Praxis des Brauereibetriebes angepaßten Form zu seinem „System der natürlichen Reinzucht“ zusammengefaßt hat.

Dieses System ist — um Delbrücks Worte zu gebrauchen — „als rationelle Gärtechnik nichts anderes, als die mit dem Rüstzeug wissenschaftlicher Erkenntnis in Gesetze und Paragraphen aufgelöste Instruktion der Praxis“.

Zur Erläuterung dieses Satzes seien noch einige Stellen aus Delbrücks Handbuch angeführt. Er sagt:

„Der Beweis hierfür ergibt sich aus der Tatsache, daß die Hefegewinnungs- und Züchtungsverfahren der verschiedenen Gärungsgewerbe ein System der natürlichen Reinzucht in sich schließen, und daß diese Systeme sich ausbildeten, bevor man etwas von Heferassen wußte.

Die Brauer betreiben Reinzucht, wenn sie im Untergärungsverfahren eine bestimmte Schicht der sich am Boden absetzenden Hefe zur Fortpflanzung benutzen, desgleichen auch, wenn sie bestimmte Gärtemperaturen einhalten. Im Brauereiobergärungsverfahren findet die Teilung der Rassen nach dem „Trieb“ statt: indem die zu gewisser Zeit an der Oberfläche der Gärungsflüssigkeit erscheinende Hefe zur Fortpflanzung

benutzt wird, legt man bestimmte Rasseeigenschaften der Fortzüchtung zugrunde.

Die Hefe des Berliner Weißbieres konnte sich von anderen Rassen sondern, da sie, in Gegenwart des Milchsäurebazillus lebend, sich säurebeständig erwies und instand gesetzt wurde, andere, diese Eigenschaften nicht zeigende Oberhefen zu unterdrücken. Daß sich die noch in stärkerem Grade säurebeständigen Brennereihefen in der Weißbierbrauerei nicht finden, hat seinen Grund darin, daß ihre Triebverhältnisse andere sind.

Indem das Brennereigewerbe seine Hefen in stark sauren Maischen züchtet, schließt es gleichzeitig alle Bierhefen aus, und diese Bierhefen müssen ausgeschlossen werden, weil sie eine für das Brennereigewerbe unzureichende Gärkraft entwickeln.

Die Brauerei verlangt eine Hefe, welche die Gärung nicht zu weit führt; deshalb wird die das Gärgeschäft rechtzeitig unterbrechende Hefe zur Fortpflanzung benutzt, d. h. die Hefe, welche sich (untergärig) frühzeitig zu Boden setzt, oder die Hefe, welche sich (obergärig) rechtzeitig aus der Gärflüssigkeit heraushebt (Trieb).

Die Brenner verlangen eine Hefe, welche die verfügbaren Kohlehydrate möglichst bis auf den letzten Rest vergären; sie dürfen sich aus der Gärflüssigkeit nicht ausscheiden, sie dürfen auch nicht empfindlich sein gegen die sich ansammelnden eigenen Ausscheidungen, insbesondere gegen den Alkohol. Die Brenner bereiten deshalb ein konzentriertes Hefegut und lassen es weit vergären; es scheiden dabei alle Hefen aus, welche unter diesen Umständen zugrunde gehen.

Die Preßhefefabrikanten, welche die Hefe als Fabrikat gewinnen und sie in großer Quantität und guter Qualität haben müssen, gebrauchen Wuchshefen; diese haben die Eigenschaft, daß sie bei Luftzutritt ein großes Vermehrungsvermögen entwickeln, auch besitzen sie eine hohe Säurebeständigkeit. Sie müssen auch wärmebeständig sein. Seit alters her benutzen die Preßhefefabrikanten ein stärker gesäuertes Hefegut als die Brenner und führen die Hefe wärmer. Auch hatten sie flache Gärbottiche, teils Gärschiffe, welche den Luftzutritt erleichtern.

Wie steht es in der Weinbereitung? Die Weinhefen überwintern im Erdboden, sie gelangen im Frühjahr mit dem Staub auf Laub und Frucht des Weinstockes. Es können also nur winterharte Rassen ausdauern; wenn man etwas sucht, wird man aber wohl finden, daß die für gewisse Weingegenden einheimischen Rassen nicht nur durch das betreffende Klima, besonders Winterklima, bedingt sind, daß vielmehr die übliche Bodenbehandlung und Düngung, welche für die Erdtemperatur und andere Erscheinungen im Boden entscheidend sind, mindestens ebenso großen Einfluß haben.

So haben sich aus Jahrhunderte alter Tradition für jedes Gärungsgewerbe die ihm eigentümlichen Heferassen herausgearbeitet; daß hierbei auch der Kampf mit den Bakterien eine Rolle spielte, ist klar; die Brauer hatten es leicht, denn ihre Temperaturen sind diesen Eindringlingen ungünstig, auch ermöglichte ein angemessenes Schlämmen die radikale Beseitigung dieser kleinsten, jeder Flüssigkeitsbewegung folgenden Organismen. Der Brenner mußte nach anderen Mitteln suchen; sie boten sich in der Empfindlichkeit der Spaltpilze gegen Säuren und Alkohol dar."

Diese Worte Delbrücks geben wohl am besten einen Überblick über das, was er unter „natürlicher Reinzucht" verstehen will und sie sind so klar, daß wohl jede mißverständliche Auffassung seines Systems ausgeschlossen ist. Die Aufgabe der „natürlichen Reinzucht" liegt darin, die durch Pasteurs und Hansens Arbeiten geschaffenen wissenschaftlichen Grundsätze in die Praxis umzusetzen und ihr die Vorteile der künstlichen Reinzucht dauernd zu sichern.

V. Abschnitt.

Die Hefebereitung in der Spiritusbrennerei.

Die Spiritusfabrikation befaßt sich mit der Umwandlung von Kohlehydraten in Alkohol unter Verwendung gewisser Heferassen, welche die Spaltung der Kohlehydrate in Alkohol und Kohlensäure besorgen. Die idealen Rohstoffe für den Spiritusfabrikanten wären natürlich solche, die schon direkt oder indirekt gärungsfähigen Zucker vorgebildet enthalten, doch finden solche Rohstoffe — wenn wir von der Melasse der Zuckerfabriken absehen — verhältnismäßig selten Anwendung. Auch die Zuckerrübe käme als solcher Rohstoff in Betracht, doch stehen in Deutschland und Österreich ihrer ausgedehnten Verarbeitung die Steuergesetze im Wege, dagegen wird in Frankreich Rübensaft in großen Mengen zu Spiritus verarbeitet. Endlich wären als zuckerhaltige Rohstoffe gewisse süße Früchte zu nennen, wie die Pflaume (Zwetschke) und die Kirsche, die, ebenso wie manche andere Früchte in geringerem Umfang (Eberesche, Vogelbeere usf.) zur Herstellung von Alkohol, beziehungsweise von Trinkbranntwein verwendet werden.

Die wichtigsten Rohstoffe der Spiritusbrennerei sind jedoch die Kartoffel und die Getreidearten, also Materialien, welche das Kohlehydrat Stärke enthalten. Die Stärke ist in Wasser unlöslich und daher nicht direkt gärungsfähig, sie muß daher zunächst verzuckert werden. Dies geschieht durch Anwendung eines im keimenden Getreide (Malz) enthaltenen Enzymes, der Diastase, von deren Eigenschaften und Wirkung schon an früherer Stelle die Rede war. Erst die verzuckerte Maische wird mit Hefe angestellt und vergären gelassen.

Der Verlauf der Gärung hängt natürlich von zahlreichen Umständen ab, von der Rasse der Hefe, von der Temperatur, von der Zusammensetzung der Maische usf. Die richtige Gärführung bildet aber nicht nur den schwierigsten, sondern auch den wichtigsten Teil der Brennerei, denn von ihr hängt die Ausbeute und damit die Rentabilität des Unternehmens ab.

Aus der vergorenen Maische wird durch Destillation der Alkohol gewonnen, der dann noch weiter gereinigt und konzentriert wird. Als Nebenprodukte ergeben sich Schlempe, die entweder im frischen Zustande oder als „Trockenschlempe“ als Futtermittel verwendet wird.

Es ist nicht die Aufgabe dieses Buches, das Gesamtgebiet der Spiritusbrennerei zu besprechen — wer sich darüber zu unterrichten wünscht, sei auf die Spezialwerke, vor allem auf Maercker-Delbrücks großes „Handbuch der Spiritusfabrikation“ verwiesen. Hier soll vor allem die Verwendung der Hefe in der Spiritusfabrikation erörtert werden, beziehungsweise ihre Benutzung zur Spaltung des Zuckers und alles, was damit im Zusammenhange steht. Hier gehört demnach auch die Verwendung anderer Mikroorganismen, besonders von Milchsäurepilzen, um die Säuerung des Hefegutes als Schutzmittel gegen Infektionen durchzuführen. Ehe wir jedoch mit der Schilderung dieser Verhältnisse beginnen, sei zunächst ein ganz kurzer und gedrängter Überblick über die Arbeitsweise in den Spiritusfabriken gegeben, wobei wir zwischen Fabriken, die hauptsächlich Kartoffeln, und solchen, die Getreide oder Melasse verarbeiten, unterscheiden müssen.

A. Kartoffelbrennerei.

Das Rohmaterial ist die Kartoffel, deren Stärkegehalt je nach Sorte und Witterung zwischen 16 und 26 Prozent schwankt; als mittleren Stärkegehalt kann man 18 bis 20 Prozent bezeichnen. Zum Zwecke der Verzuckerung der Stärke werden die gewaschenen Knollen im Henze-Dämpfer unter Druck gedämpft, die Temperatur beträgt, entsprechend einem Drucke von $2^1/_2$ bis $3^1/_2$ Atmosphären, 138 bis 147°, das Dämpfen dauert eine halbe bis Dreiviertelstunden. Durch

das Dämpfen wird die Stärke verkleistert und zum Teil gelöst, gleichzeitig entstehen durch die hohe Temperatur auch Umsetzungsprodukte, die sich durch die braune Farbe und den eigentümlichen Geruch der gedämpften Masse zu erkennen geben.

Aus dem Dämpfer gelangt der Brei in den Vormaischbottich, wo er abgekühlt und mit 3 bis 5 Prozent Malz versetzt wird. Das Malz wird aus Gerste bereitet, indem man sie keimen läßt. Der Brenner benötigt ein Malz, welches sehr reich an Diastase ist und daher hohe verzuckernde Kraft besitzt, dies wird durch langsame Keimung bei einer Temperatur von 15 bis 16° während 18 bis 20 Tagen erhalten. Während der Keimung erreicht der Keim die doppelte bis dreifache Länge des Kornes (Langmalz), das Malz wird als „Grünmalz", also in ungedarrtem Zustande verwendet, weil es hier nicht wie in der Brauerei darauf ankommt, auch färbende, schmeckende und riechende Stoffe zu erhalten.

Die Wirkung der Diastase wird von der Temperatur beeinflußt. Man hält daher die Temperatur der zu verzuckernden Maische durch eine halbe bis 1 Stunde auf 52 bis 56° und steigert sie dann noch auf 61 bis 64°. Eine noch höhere Steigerung wäre allerdings wünschenswert, um dadurch sterilisierend zu wirken, doch ist dies ausgeschlossen, weil sonst die Wirksamkeit der Diastase geschädigt würde. Dies wäre aber für den Verlauf der Gärung nachteilig. Denn die Diastase wandelt nur 80 bis 81 Prozent Stärke in Maltose, den Rest dagegen in Dextrin um. Diese werden zwar auch vergoren, jedoch nur, wenn noch wirksame Diastase zugegen ist. Würde daher die Diastase durch zu starkes Erwärmen unwirksam gemacht, so würde die Vergärung leiden. Ist die Verzuckerung vollendet, so passiert die Maische den Entschäler und wird dann auf rund 30° abgekühlt. Dann folgt das Anstellen mit der Hefe.

Inzwischen ist die Hefe in den Hefegefäßen vorgezüchtet worden. Als Nährmaterial benutzt man die Kartoffelmaische, die noch einen Zusatz von Malz erhält, diese Masse heißt „Hefengut". Man verzuckert das 21 bis 24° Balling spindelnde Hefengut zunächst durch 2 Stunden bei 62 bis

64°, worauf es gesäuert wird. Dazu dient meist der Kulturmilchsäurepilz (Bacillus Delbrücki), den man durch 20 bis 24 Stunden bei einer Temperatur von ungefähr 50° einwirken läßt, er wird zugesetzt, so lange die Maische noch 55 bis 58° warm ist. Die entstehende Milchsäuremenge beträgt rund 0·9 Prozent, entsprechend 2°, das sind 2 Kubikzentimeter Normalnatronlauge für 20 Kubikzentimeter Maischefiltrat. Zu Beginn der Kampagne wird die Säuerung mit einer Reinkultur des Pilzes eingeleitet, in der Folge wird immer ein Teil des gesäuerten Hefengutes aufbewahrt und zur weiteren Säuerung benutzt.

Ist die Säuerung vollendet, so muß, ehe man die Hefe zufügt, der Milchsäurepilz getötet werden, dies geschieht durch Erwärmen auf 75° während 15 Minuten. Hierauf wird bei 30° Mutterhefe zur sauren Maische zugesetzt, zu Beginn der Kampagne benutzt man hierzu Reinzuchthefe, und zwar etwa 750 Gramm für 100 Liter Maische, später die „Mutterhefe“, die von dem bis auf 4 bis 6° Balling vergorenem Hefengut abgenommen wird. Nach dem „Anstellen“ wird die Temperatur auf 14 bis 16° erniedrigt, es ist darauf zu achten, daß sie nicht während der Gärung zu hoch, über 30° steigt. Auch die Säurezunahme soll nicht mehr wie höchstens 0·2° betragen.

Die Konzentration der Maischen hängt von der Besteuerung ab. Gegenwärtig benutzt man, weil die Steuer nach dem Maischraume bemessen wird, konzentrierte Maischen von 22 bis 24° Balling, sogenannte „Dickmaischen“, während man früher nur bis zu 20° Balling einmaischte. Die Gärdauer beträgt für solche Maischen rund 60, für Dickmaischen dagegen 72 bis 96 Stunden. Das Anstellen mit Hefe geschieht im Vormaischbottich bei 30°, dann wird auf 18 bis 21° abgekühlt, während der Gärung muß durch Kühlen ein zu hohes Ansteigen der Temperatur verhindert werden. Die „Vorgärung“ soll bei 18 bis 21°, die nach 15 bis 20 Stunden eintretende „Hauptgärung“ bei 27 bis 28° und die nach weiteren 12 Stunden eintretende „Nachgärung“ bei 25 bis 27° verlaufen.

Weil während der Gärung der Zucker verschwindet und

an seine Stelle der spezifisch leichtere Alkohol tritt, nimmt natürlich die Saccharometeranzeige ab. Vergorene Maischen spindeln 0·5 bis 1·5° Balling, der Alkoholgehalt beträgt je nach der Konzentration der Maische 9 bis 13 Volumprozent. Auch während der Gärung vermehrt sich der Säuregehalt, er soll nach dem Zusatze der Hefe 0·3 bis 0·8° betragen; der Saft der Kartoffel reagiert sauer. Die Säurezunahme während der Gärung soll 0·2 bis 0·3° nicht überschreiten. Stärkere Säurezunahme deutet auf Nebengärungen hin.

B. Getreidebrennerei.

Bei der Getreidebrennerei dienen vorzugsweise Weizen und Roggen als Rohstoffe, deren Stärke ebenfalls durch Malz verzuckert werden muß. Doch verwendet man hier meist Darrmalz an Stelle des Grünmalzes, und zwar in Mengen von 5 bis 25 Prozent, weil dadurch der Trinkbranntwein ein eigentümliches Aroma erhält. Man verwendet jedoch bei mäßiger Temperatur, etwa 56°, abgedarrtes Malz, um die Diastase nicht zu sehr zu schwächen, was mit dem Darren unter allen Umständen verbunden ist.

Auch hier wird meist das Getreide gedämpft, dann mit einem Teil des Malzes versetzt und auf 45° erwärmt. Dann wird abermals Malz zugefügt und die Temperatur während 30 Minuten bis auf 50° gesteigert. Endlich wird der Rest, etwa das letzte Drittel der gesamten Malzmenge, zugegeben und die Temperatur auf 65 bis 67° gesteigert. Dadurch wird eine nach Möglichkeit vollständige Verzuckerung erzielt, der Vorgang, welcher eingehalten wird, wechselt jedoch sehr stark nach den örtlich üblichen Arbeitsweisen.

Die Hefemaische wird derart bereitet, daß man Roggen- und Malzschrot ungefähr zu gleichen Teilen in der drei- bis vierfachen Menge Wasser verrührt („einteigt") und nun bei einer Temperatur von 64° während 2 Stunden verzuckert, die Maische zeigt dann 24 bis 26° Balling. Bei 57° wird der Kulturmilchsäurepilz oder saures Hefengut zugefügt und dadurch eine Säuerung von 0·8 bis 1·2 Prozent Milchsäure, entsprechend 1·8 bis 2·6°, erzielt. Mutterhefe (oder Reinhefe)

wird dann bei ungefähr 27° zugegeben, dann wird auf die „Anstelltemperatur“ von 14 bis 20° abgekühlt und bis auf 4 bis 6° Balling vergären gelassen. Die Konzentration der Hauptmaische liegt zwischen 16 und 25° Balling; sie wird mit der Hefe angestellt und binnen 70 bis 72 Stunden auf 1 bis 2° Balling vergoren, wobei sich je nach der Ausgangskonzentration 6 bis 12 Volumprozent Alkohol bilden. Die Säurezunahme soll auch hier 0·3° nicht überschreiten.

C. Melassebrennerei.

In den durch das Abschleudern der Füllmassen der Rübenzuckerfabriken erhaltenen Sirupen häufen sich schließlich die Nichtzuckerstoffe, und zwar sowohl solche organischer Natur, wie auch Salze so sehr an, daß nach neuerlichem Verkochen der Zucker nicht mehr auszukristallisieren vermag. Diese „Melasse“ enthält bis zu 54 Prozent Zucker, außerdem aber reichliche Mengen, bis zu 14 Prozent, Salze. In diesem Zustande wäre sie nicht vergärbar, sie muß zunächst durch Wasserzusatz auf einen Zuckergehalt von rund 16 Prozent, entsprechend 25 bis 30° Balling, gebracht werden. Da die Reinigung der Säfte in der Zuckerfabrikation durch Zusatz von Kalk erfolgt, der sich zum Teil in der Melasse vorfindet, reagiert sie zumeist alkalisch, durch Zugabe von Schwefelsäure wird sie angesäuert.

Die Hefe wird entweder in eigenen Hefemaischen, die aus Darrmalz bereitet und gesäuert werden, herangezogen oder man benutzt sofort eine aus Melasse unter Zusatz gewisser Nährstoffe, wie Kleie oder Malzkeimen, wohl auch phosphorsaurem Ammon bereitete Maische. Dies hat den Vorteil, daß sich die Hefe sofort an die eigentümliche Zusammensetzung der zu vergärenden Flüssigkeit, vor allem an den Reichtum an Salzen gewöhnen muß. Man verwendet entweder untergärige Bierhefen oder Weinhefen (siehe S. 96).

Durch die Verwendung von Weinhefe war es möglich, die Gärdauer, die bei Benutzung von Bierhefe etwa 3 Tage dauerte, auf 1 bis 2 Tage abzukürzen. Die vergorene Maische spindelt rund 7° Balling, es werden 8 bis 10 Volumprozent Alkohol gebildet.

Nach diesem allgemeinen Überblick wollen wir nun die Bereitung der „Kunsthefe" besprechen.

1. Das Einmaischen des Hefengutes.

Zur Bereitung der Maische verwendete man früher allgemein eine aus Malz und Getreideschrot hergestellte Maische. Dies hat jedoch den Nachteil, daß sich die Hefe in einem ganz anderen Material entwickelt und unter anderen Bedingungen, Konzentrationen ꝛc., als jene sind, unter denen sie später zu arbeiten hat. Daher ist es viel zweckmäßiger, die Hefe gleich an das „Klima der Hauptmaische" zu gewöhnen und sie in der dem Maischbottich entnommenen „süßen", d. h. noch nicht gesäuerten Maische heranzuziehen.

Wo man mit Dickmaischen arbeitet, wird man daher auch das Hefengut nach Möglichkeit dick einmaischen, die Konzentration beträgt 20 bis 24° Balling. In den ersten Tagen der Kampagne, wo süße Maische noch nicht zur Verfügung steht, wird das Hefengut aus Malz, beziehungsweise Schrot bereitet. Konzentriertes Hefengut besitzt vor allem den Vorteil, daß man die Hefe weit leichter erhält, als in einem verdünnten. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich dann eine größere Menge Alkohol bildet, welche die Entwicklung von Bakterien bis zu einem gewissen Grade unterdrückt. Stellt man das Hefengut mit der angegebenen Konzentration an, so entstehen rund 10 Prozent Alkohol. Wird dann die Mutterhefe der Maische zugesetzt, so wird diese schon dadurch mit Alkohol angereichert, was wesentlich zur Reinhaltung des Nährbodens beiträgt. Im Sinne Delbrücks ist aber ein hoher Alkoholgehalt der Hefe auch nach einer anderen Richtung günstig: Heferassen, welche alkoholempfindlich sind und daher zur Vergärung von Dickmaischen ungeeignet wären, werden dadurch unterdrückt und von der Weiterzüchtung ausgeschlossen. Auch wird der physiologische Zustand der Hefe nach der Richtung günstig beeinflußt, daß Schaumgärung seltener auftritt.

Wichtig für die kräftige Entwicklung der Hefe ist auch der ihr zu Gebote stehende Vorrat an Nährstoffen und darunter auch an stickstoffhaltigen Stoffen. Doch verhalten sich diese,

wie schon an einer früheren Stelle gezeigt wurde, verschieden, es kommt daher nicht auf den Gehalt der Maische an Stickstoff überhaupt an, sondern auf die Form, in der er vorhanden ist. Die besten stickstoffhaltigen Hefenährstoffe sind Peptone und Amide, und gerade diese sind im Malz und in der Kartoffel in reichlicher Menge vorhanden und naturgemäß um so mehr, je konzentrierter die Maische ist.

Delbrück betrachtet es daher in seinem „System der natürlichen Reinzucht" als sehr wesentlich, daß die Konzentration des Hefengutes so hoch gewählt wird, als es nur angeht. Allerdings leidet dadurch die „Beweglichkeit" der Maischen, wodurch die Entwicklung der Hefe nachteilig beeinflußt werden könnte. Dem läßt sich jedoch durch Entschalung der Maische bis zu einem gewissen Grade entgegenarbeiten, doch wird sich auch die entschalte Maische bei der Gärung anders verhalten. Der ruhigere Verlauf der Gärung in der konzentrierten Maische ist hier aber durchaus nicht als Anzeichen für das Mattwerden der Hefe aufzufassen. Daß minder konzentrierte Maischen bei der Gärung lebhaft wallen und in starker Bewegung begriffen sind, beruht eben nur darauf, daß in der dünneren Masse die Verschiebbarkeit der Teilchen, mithin die „Beweglichkeit" überhaupt größer ist.

Die Bereitung der Hefemaische geschieht entweder im Hefegefäße selbst oder — was unbedingt den Vorzug verdient und daher auch in allen größeren Betrieben eingehalten wird — in besonderen Hefemaischapparaten.

Die Hefegefäße sollen nur aus dem besten, starken Eichenholz verfertigt sein, ihr Inhalt darf nach dem deutschen Gesetze den zehnten Teil des Maischbottichs, zu dessen Anstellung sie dienen, nicht überschreiten. Um sie leichter transportierbar zu machen, werden sie meist auf ein Gestell gesetzt, das von Rollen getragen wird, die nach allen Richtungen hin drehbar sind. Sehr große Sorgfalt ist natürlich der Reinhaltung der Hefegefäße zuzuwenden, damit sie nicht zu Quellen von Infektionen werden. Die Reinigung geschieht durch Anwendung von heißem Wasser und antiseptischen Stoffen und durch Ausdämpfen, wobei man die Hefegefäße umstülpt und durch 10 Minuten Dampf einleitet. Doch darf das Dämpfen

nicht zu häufig ausgeführt werden, weil das Holz dadurch sehr leidet, locker und schwammig wird und dann noch schwieriger gereinigt werden kann.

Die Hefemaischapparate bestehen aus einem Behälter, in dem sich ein mechanisch angetriebenes Rührwerk bewegt. Vom tiefsten Punkte des Gefäßes führt ein Rohr nach außen, das dort durch einen Hahn verschlossen ist und zum Ablassen der Maische dient. Zum Zwecke der Erwärmung ist die Vorrichtung mit einem doppelten Mantel versehen, in welchen Dampf eingeleitet wird. Fig. 35 zeigt einen solchen Hefemaischapparat der Aktiengesellschaft H. F. Eckert, Berlin-Friedrichsberg. Größere Hefemaischapparate werden an Stelle des Doppelmantels mit besonderen Kochvorrichtungen versehen.

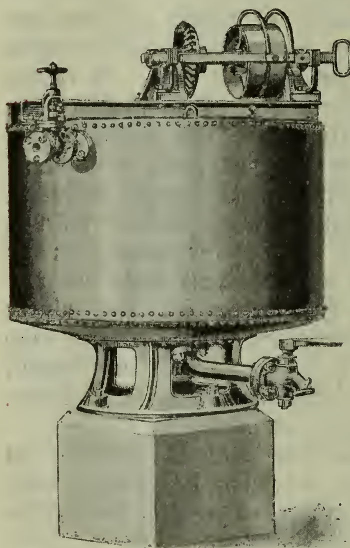


Fig. 35. Hefemaischapparat der Aktiengesellschaft H. F. Eckert.

Die Bereitung der Maische wird in der Weise durchgeführt, daß man ein der Maischmenge entsprechendes Quantum heißes Wasser (zirka 75°) in das Hefegefäß oder in den Maischbottich, wo ein solcher verwendet wird, bringt. Dann trägt man unter kräftigem Rühren mit dem Maischholze oder des Rührwerkes in kleinen Mengen nach und nach das gut gequetschte Grünmalz, eventuell auch Getreideschrot ein. Nun wird die Masse so lange bearbeitet, bis sie ganz gleichmäßig ist und vor allem keine Klümpchen oder größere zusammenhängende Massen mehr erkennen läßt, sie muß milchig aussehen. Dabei sinkt natürlich die Temperatur. Bei ungefähr 60° wird dann das Hefengefäß mit der dem Vormaischbottich

entnommenen süßen Maische angefüllt und diese innig mit dem Malzbrei vermengt. In größeren Betrieben dienen Pumpen zum Transport der süßen Maische vom Maischbottich nach dem Hefengefäße. Die Abmaischtemperatur von 62 bis 65° wird entweder durch Zubrühen von heißem Wasser oder durch Benutzung des Dampfmaischholzes erreicht.

Das Dampfmaischholz besteht aus einem aus verzinntem Kupferrohre verfertigten Rahmen oder einer Spirale, welche feine Löcher besitzt, durch welche der Dampf aus-

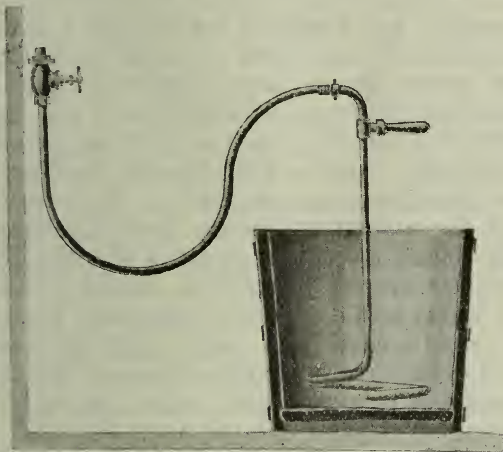


Fig. 36. Dampfmaischholz.

strömt. Diese Spirale ist an einem Rohre befestigt, dieses wird mittels eines Kautschukschlauches mit der Dampfleitung verbunden. Das Rohr, das gleichzeitig als Griff benutzt wird, ist mit einem Holzmantel umgeben, der als Wärmeschutz dient (Fig. 36).

Um eine nach Möglichkeit vollständige Verzuckerung zu erzielen und um die an dem Malze sitzenden Keime von Organismen zu töten, dehnt man die Dauer der Verzuckerung lange, auf $1^1/_2$ bis 2 Stunden aus und steigert sie am Schlusse noch auf 70°. Dies ist allerdings nach Versuchen

von Henneberg nicht unbedingt nötig, vielmehr genügt es, bei 65° abzumaischen, weil die vegetativen Formen der Bakterien, die in der Maische vorhanden sind, schon bei 60° absterben. Auch durch diese Temperatur wird die Wirksamkeit der Diastase schon herabgesetzt, doch ist dies ohne Belang, sofern eine genügend große Malzmenge verwendet wird. Es ist dann immer noch genügend wirksame Diastase in der Maische vorhanden.

2. Die Säuerung des Hefengutes.

Der Zweck der Säuerung des Hefengutes ist ein mehrfacher. Zunächst verlangt die Hefe zur ungehinderten Entwicklung überhaupt einen schwach sauren Nährboden, dann ist auch die freie Säure befähigt, die Entwicklung von Spaltpilzen zu unterdrücken, weil diese einen alkalisch reagierenden Nährboden bevorzugen, um die Hefe dadurch zu schützen. Durch die beim Maischvorgange eingehaltene Temperatur werden allerdings die vegetativen Formen vieler Spaltpilze getötet oder doch geschädigt, dagegen gelingt es bei dieser Temperatur nicht, auch die Sporen zu vernichten. Endlich ist die Maische fernerhin immer noch der Infektion ausgesetzt, durch die saure Reaktion werden daher auch solche Infektionen unschädlich gemacht. Die Wirkung der Säure, und zwar der Milchsäure, die vorzugsweise verwendet wird, äußert sich jedoch auch nach einer anderen Richtung. Sie übt einen Reiz auf die Hefe aus, wodurch sie zu erhöhter Zymaseproduktion angeregt wird, und sie hilft schließlich auch mit, die in der Maische vorhandenen Eiweißstoffe in eine für die Ernährung der Hefe taugliche Form überzuführen.

Die Säuerung kann sowohl durch Einleitung einer reinen Milchsäuregärung, durch Verwendung einer Reinkultur des Bacillus Delbrücki, als auch durch Verwendung gewisser organischer und anorganischer Säuren erfolgen. Der heute am häufigsten angewendete Vorgang ist die Säuerung unter Mitwirkung des Milchsäurepilzes. Wir werden daher zunächst diese Arbeitsweise besprechen.

Das Hauptaugenmerk ist auf eine reine Säuerung zu legen, d. h. es soll sich nur das Milchsäureferment ungehindert

entwickeln. Dieser Forderung kann heute durch Anwendung der Reinkulturen und Einhaltung geeigneter Temperaturen verhältnismäßig leicht entsprochen werden, vor Einführung der Milchsäurereinkulturen war dies aber recht schwierig, weil sich stets auch unliebsame Nebengärungen einstellten. Die günstigste Temperatur für die Entwicklung des Bacillus Delbrücki liegt allerdings zwischen Temperaturen von 41 bis 47°, trotzdem ist es angezeigt, während der Säuerung die Temperatur durchschnittlich auf 50° zu erhalten, weil sonst auch andere, „wilde" Milchsäurebazillen, ferner Buttersäurebakterien und — sofern schon Alkohol gebildet ist — auch Essigbakterien auftreten können.

Die Dauer der Säuerung wird nicht zu kurz bemessen, sie beträgt etwa 18 bis 24 Stunden. Während dieser Zeit darf die Temperatur des Hefengutes nicht unter 50° sinken, man muß daher unter Umständen durch Anwendung des Dampfmaischholzes oder von Wärmevorrichtungen für die Erhöhung der Temperatur sorgen. Solche Wärmevorrichtungen werden zweckmäßig in der Hefenkammer in der Weise geschaffen, daß man in einer Ecke einen kastenförmigen Raum zur Aufnahme der Gefäße mit Hefengut aufmauert und ihn durch Einleitung eines Dampfrohres heizbar macht. Durch eine Doppeltüre werden Wärmeverluste vermieden, anderseits verhütet man dadurch auch, daß die eigentliche Hefenkammer zu stark erwärmt wird. In diesen „Wärmeschrank" werden die Gefäße mit dem zu säubernden Hefengute eingeschoben, erhält man die Temperatur in dem Wärmeschranke auf 50°, so wird auch das Hefengut diese Temperatur während der ganzen Dauer der Säuerung beibehalten.

In Brennereien, die noch nicht unter Verwendung von Reinkulturen des Milchsäurebazillus arbeiten, verursacht die Einleitung einer Säuerung zu Beginn der Kampagne oft erhebliche Schwierigkeiten. Aber selbst dort, wo sie gelingt, ist man nie sicher, ob sich nicht verschiedenartige Organismen entwickeln. Seit der fast allgemeinen Einführung der Milchsäurereinkulturen ist die Schwierigkeit, reine Säure in den Betrieb zu bringen, ganz verschwunden. Die von der Hefezuchtanstalt des Instituts für Gärungsgewerbe zu Berlin ver-

sendeten Fläschchen enthalten je 100 Kubikzentimeter der Milchsäurepilzkulturen, diese Menge reicht zur Einsäuerung von 300 Litern Hefengut hin. Der Zusatz darf natürlich erst dann erfolgen, wenn das Hefengut nach Beendigung des Maischens auf 50° abgekühlt ist.

Der Milchsäurepilz soll sich kräftig entwickeln und reichlich Säure produzieren, doch soll der Grad der Säuerung nicht zu hoch sein, weil sonst die Entwicklung der Hefe darunter leidet. Als normal sind ungefähr 1·8 bis 2·0° anzusehen, d. h. zur Neutralisation von 20 Kubikzentimeter Maischfiltrat sollen 1·8 bis 2·0 Kubikzentimeter Normalnatronlauge benötigt werden. Steigert man den Säuregrad wesentlich über diese Grenze, so kann dies nachteilig sein, umgekehrt ist es möglich, auch mit einem geringeren Säuregrade auszulangen, doch ist der Reinhaltung der Hefe wegen ein höherer Säuerungsgrad vorzuziehen.

Ist die Säuerung normal eingeleitet, so wird zur Fortzüchtung des Milchsäurebazillus immer ein Teil des fertig gesäuerten Hefengutes zurückbehalten und dem frischen Hefengute zugesetzt. Der Zusatz darf jedoch nicht schon während des Einmaischens geschehen, weil durch die weit höhere Temperatur der Milchsäurepilz getötet oder doch geschwächt wird; auch wirkt freie Milchsäure ungünstig auf die Wirkung der Diastase. Zur Aussaat genügen für ein Hefegefäß mit 300 Liter Inhalt 1 bis 2 Liter Sauergut.

An der Oberfläche des Hefebottichs sinkt naturgemäß die Temperatur und es ist daher die Möglichkeit vorhanden, daß sich hier auch andere Mikroorganismen entwickeln. Deshalb empfiehlt Delbrück im Sinne seines Systems der natürlichen Reinzucht, entweder die obere Decke abzuschöpfen und fortzugießen, oder das zum Einsäuern dienende Sauergut mit Hilfe eines Hebers aus der Mitte des Hefengefäßes zu entnehmen. Das Sauergut wird in einer Kanne entweder bei einer Temperatur von 50 bis 55° aufbewahrt oder in kaltes Wasser bis zur Verwendung gestellt. Dies hat den Zweck, auch hier während dieser Zeit die Entwicklung anderer Mikroorganismen zu verhüten.

Ist die Säuerung des Hefengutes vollzogen, so wird der

Milchsäurepilz durch Anwärmen auf mindestens 75° getötet. Man verfolgt damit einen mehrfachen Zweck. Zunächst ist es für den Verlauf der Gärung nicht günstig, wenn noch

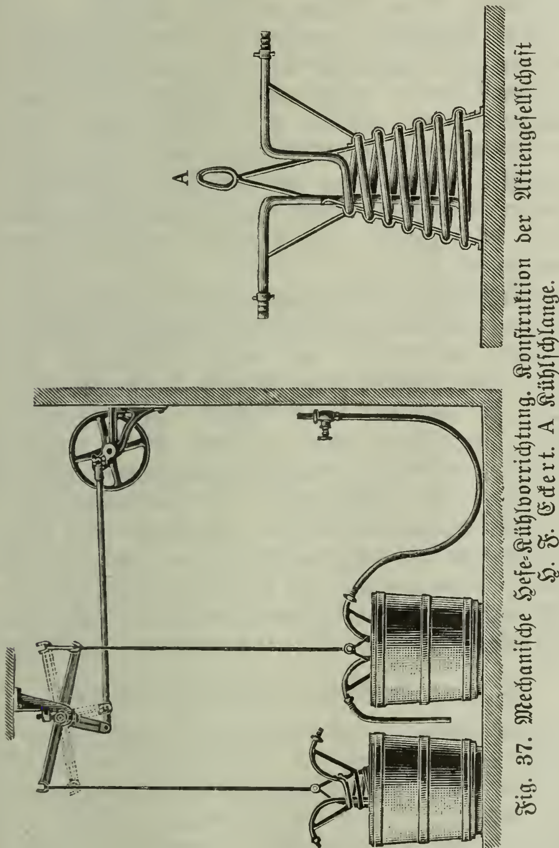


Fig. 37. Mechanische Hefe-Kühlvorrichtung. Konstruktion der Aktiengesellschaft H. F. Eckert. A Kühlschlange.

lebende Milchsäureorganismen in die Maische gelangen und fortfahren, Säure zu bilden. Ferner werden sich im Hefengute bestimmt auch andere, schädliche Mikroorganismen, wie

Buttersäure- und Essigbazillen, wilde Milchsäurebazillen usf. vorfinden, die durch die Erwärmung dann ebenfalls getötet werden. Die Einwirkung der höheren Temperatur soll mindestens 15 Minuten dauern, daß dadurch die Diastase geschädigt wird, ist im Hefengute ohne Belang.

Ist das Anwärmen beendet, so muß das Hefengut auf die Gärtemperatur abgekühlt werden. Dies muß so rasch als möglich, etwa binnen 10 Minuten geschehen, und besonders das Intervall von 50 bis 30° muß rasch zurückgelegt werden. Denn die freie Milchsäure gewährt zwar immerhin einen gewissen Schutz gegen die Ansiedlung unwillkommener Organismen, doch kann immer eine Infektion stattfinden, solange nicht auch kräftige, in lebhafter Entwicklung begriffene Hefe vorhanden ist.

Zur Abkühlung benutzt man Kühlvorrichtungen, die mit der Hand oder besser durch Maschinenkraft bewegt werden. Man erreicht dadurch eine sehr rasche Abkühlung, auch erfordern die Dickmaischen einen höheren Kraftaufwand für die Bewegung als dünnere. Die Kühler werden aus dünnwandigen, spiralförmig oder in einer Ebene angeordneten Messingrohren verfertigt, durch Schlauchkuppelungen sind sie mit dem Zu- und Abflußrohre für das Kühlwasser verbunden. Diese Kühlvorrichtungen werden von einer Welle aus derart betätigt, daß sie sich ziemlich rasch, etwa 25- bis 30mal in der Minute, im Hefengefäße auf und ab bewegen. Fig. 37 zeigt eine solche mechanische Vorrichtung zur Kühlung des Hefengutes, eine Konstruktion der A.-G. H. F. Eckert, Berlin-Friedrichsberg.

3. Das Anstellen des Hefengutes.

Ist das Hefengut auf 28 bis 30° abgekühlt, so ist es zweckmäßig, das Anstellen, d. i. den Zusatz der Mutterhefe vorzunehmen. Unter der „Mutterhefe“ versteht man die Hefeaussaat, welche zu Beginn der Kampagne in Gestalt eines bestimmten Quantums Preßhefe — oder weit besser Reinhefe Rasse II oder XII oder der Mischhefe „M“ (siehe S 95) — oder später im regelmäßigen Betriebe in Form einer bestimmten Hefemenge, welche der vorausgegangenen Generation entnommen wurde, zugesetzt wird.

Es ist unbedingt zweckmäßig, das Anstellen schon bei einer höheren Temperatur (28 bis 30°) durchzuführen, weil dadurch auch die Überwindung der von Delbrück als „tote Punkte“ bezeichneten Abschnitte, wo sich leicht schädliche Mikroben ansiedeln, leichter möglich wird. Anderseits darf aber diese Temperatur nicht lange eingehalten werden, weil sie die Entwicklung von Bakterien begünstigen würden, die sich jetzt einnisten könnten, solange die Gärung nicht im Gange ist und schon Alkohol gebildet wurde. Deshalb wird nach dem Zusatze der Mutterhefe das Hefengut sogleich weiter bis auf 12 bis 16° abgekühlt. Durch die alsbald lebhaft einsetzende Gärung wird soviel Wärme produziert, daß die Temperatur wieder ansteigt, über 28° soll sie jedoch nicht hinausgehen. Unter Umständen ist zu starke Erwärmung durch Anwendung des Hefenkühlers zu verhüten. Benutzt man zu Beginn der Kampagne Reinhefe zum Anstellen, so sind für je 1000 Liter Gärbottichraum, also für ein Hefengefäß mit 100 Liter Inhalt $^3/_4$ Kilogramm Reinhefe nötig.

Das Hefengut wird nun der Gärung überlassen. Es handelt sich hierbei einerseits darum, eine nach Möglichkeit starke Vermehrung der Hefezellen zu erzielen, anderseits aber auch eine gut ausgereifte, also physiologisch kräftige Hefe zu erzeugen und außerdem eine solche Alkoholmenge zu erhalten, daß sie nun auch einen Schutz gegen Infektionen bildet.

Sehr wichtig ist auch die Erkennung des Zeitpunktes, wenn die Hefe zum Abnehmen reif ist. Man sah früher diesen Augenblick als gekommen an, wenn die Sprossung aufhörte und sich die Sproßverbände in der Mehrzahl gelöst hatten. Dies tritt schon ein, wenn der Alkoholgehalt der gärenden Flüssigkeit 5 Prozent erreicht hat, ist jedoch durchaus kein sicheres Kriterium. Vielmehr hat sich ergeben, daß dann die Hefe durchaus noch nicht auch physiologisch ausgereift und soweit gekräftigt ist, um ebenso wie vollkommen ausgereifte Hefe allen schädlichen Einwirkungen zuwider stehen. Dies ist erst der Fall, wenn die Gärung länger gedauert hat. Der Alkoholgehalt soll daher mindestens 8 Prozent betragen und von dem ursprünglich vorhandenen Extrakte des Hefengutes sollen 17 bis 18° Balling (scheinbar) vergoren sein. Hefe=

maischen von 20 bis 24° Balling müssen demnach bis auf 3 bis 6° vergären, wozu eine längere Gärdauer nötig ist. Die Gärung darf jedoch auch nicht zu weit getrieben werden. Es müssen immer noch genügend Nährstoffe im Hefengute vorhanden sein, sonst leidet die Hefe Nahrungsmangel und gelangt minder gärkräftig in den Gärbottich. Besteht die Gefahr, daß die Hefe zu weit vergärt, so kann dem durch das „Auffrischen“ begegnet werden. Man bringt zu diesem Zwecke eine neue Menge süßer oder besser gesäuerter Hefemaische in den Hefebottich, doch ist dieser Vorgang nicht zu empfehlen, weil damit eine Verdünnung der Säure verbunden ist. Auch setzt dann die Entwicklung der Hefe neuerdings ein und sie ist noch unreif, wenn sie dann verwendet wird. Die Notwendigkeit des Auffrischens wird vermieden, wenn stets für das richtige Ineinandergreifen der Vorgänge gesorgt wird, d. h. daß das Hefengut reif ist, wenn die Hauptmaische angestellt werden soll.

Die Abnahme der Mutterhefe wurde früher meist schon einige Stunden vorher ausgeführt, ehe die übrige Hefemaische zum Anstellen der Hauptmaische verwendet wurde, sie wurde dann stark abgekühlt bis zur Verwendung aufbewahrt. Jetzt geht man derart vor, daß die Mutterhefe erst abgenommen wird, bevor man die Hauptmaische anstellt. Sie wird dann überhaupt nicht aufbewahrt, sondern sofort in das folgende Hefengut übertragen; ihre Menge beträgt ein Fünftel bis ein Sechstel der gesamten Hefenmaische.

Auch zur Hauptmaische wird die reife Hefe bei verhältnismäßig hoher Temperatur, bei 28 bis 30° gegeben. Dies hat hier den gleichen Vorteil, wie das Anstellen des Hefengutes bei höherer Wärme. Gleichzeitig wird das Kühlen der Maische, das meist im Vormaischbottich geschieht, fortgesetzt. Selbstverständlich ist stets auf sehr gründliche Vermengung der Hefe mit der Hauptmaische Bedacht zu nehmen. Wird dagegen die Hefe erst im Gärbottich zugesetzt, so kann dies nur bei der Anstelltemperatur geschehen, auch ist dann die Vermengung von Hefe und Maische nur wenig vollständig. Nachteilig ist es jedoch auch, die Hefe bei zu hoher Temperatur zuzusetzen, weil sonst zwar die Gärung sehr rasch antritt, aber doch die Hefe geschwächt wird.

Hat die Hefe eine Schädigung erfahren, oder deutet zu starke Säurezunahme im Hefengut während ihrer Vermehrung auf die Anwesenheit säurebildender Mikroorganismen hin, so wird man zweckmäßig am besten tun, die Hefe aus dem Betriebe zu entfernen und neue Anstellhefe zu verwenden. Dann ist es aber auch angezeigt, gleichzeitig zur Säuerung eine frische Reinkultur des Milchsäurebazillus zu beziehen und die neue Reinzuchthefe erst in einem Hefengute auszusäen, das mit der frischen Milchsäurekultur gesäuert ist.

4. Die künstliche Säuerung des Hefengutes.

Die Verwendung des Milchsäurebazillus zur Säuerung des Hefengutes liefert zwar durchaus brauchbare und einwandfreie Ergebnisse, ist jedoch von gewissen Mängeln nicht frei. Als solche wäre vor allem der Umstand zu erwähnen, daß die in Milchsäure umgewandelte Zuckermenge für die Bildung von Alkohol verloren ist und zweitens, daß dieses Verfahren Arbeitskraft, Zeit und einen entsprechenden Raum erfordert. Es lag daher der Gedanke nahe, die Bildung der Säure in der Flüssigkeit durch Zusatz von reiner Milchsäure zu umgehen. In der Folge wurden dann auch andere Verfahren ausgebildet, welche auf der antiseptischen Wirkung von Mineralsäuren (Flußsäure, Schwefelsäure, Salzsäure) beruhen. Der technische Erfolg dieser Verfahren ist dem durch die Säuerung mit Milchsäure unter Verwendung des Milchsäurebazillus erzielbaren gleich, allerdings werden weder höhere Ausbeuten noch sonst irgendwie besonders wertvolle Vorteile erzielt. Auch eine wesentliche Verbilligung der Arbeitsweise konnte dadurch nicht erreicht werden.

Die Verwendung von reiner Milchsäure an Stelle der im Hefengute erzeugten konnte erst in Frage kommen, als man begann, sie in größeren Mengen billig herzustellen. Man setzt dem Hefengute eine solche Menge der technischen, 50prozentigen Milchsäure zu, daß das Hefengut 1 bis 2 Prozent Milchsäure enthält. Nach dem Ansäuern wird sofort auf die Anstelltemperatur abgekühlt und die Mutterhefe zugesetzt.

Versuche, welche unter Aufsicht der Versuchsanstalt für

Spiritusindustrie in Berlin durchgeführt wurden, ergaben, daß zwar die Ausbeuten hinter dem gewöhnlichen Verfahren in keiner Weise zurückstanden, sie aber auch nicht übertrafen. Doch würde die Ausgabe für technische Milchsäure sich pro Kampagne bei 3000 Litern täglichen Maischraumes auf 200 bis 300 Mark stellen, wogegen die Pilzsäuerung nach einer Berechnung von J. Lange nur 70 bis 80 Mark kostet. Das Verfahren, dem andere Ersparnisse in nennenswerter Höhe nicht gegenüberstehen, käme daher wohl nur für solche Betriebe in Betracht, denen die Erzielung der reinen, normalen Milchsäuregärung Schwierigkeiten bereitet.

Auch Buttersäure und Ameisensäure äußerten eine ähnliche, günstige Wirkung, besonders die Ameisensäure erwies sich schon in ganz geringer Menge nach den Versuchen von Lange als ausgezeichnetes Antiseptikum.

Das älteste Verfahren zur künstlichen Säuerung ist wohl das Flußsäureverfahren Effronts, welches darauf beruht, daß geringe Mengen der Flußsäure und ihrer Salze zwar die Entwicklung der Spaltpilze vollständig hemmen, dagegen der Hefe nicht nur nicht schaden, sondern sogar als Reizstoff wirken und sie zu höherer Gärleistung anregen.

Das Wesentliche des Verfahrens besteht darin, daß die Hefe erst langsam an die Flußsäure gewöhnt, „akklimatisiert“, wird, indem man sie in einem Hefengute führt, dem nach und nach größere und ansteigende Säuremengen zugefügt werden. Bei dem Effrontschen Flußsäureverfahren, das sich jedoch nicht allgemein einzubürgern vermochte, werden der Hauptmaische je nach ihrer Konzentration 0·5 bis 3 Gramm freie Flußsäure oder 2 bis 10 Gramm Fluorsalze pro 100 Liter zugesetzt, außerdem wird auch die Hefe in flußsäurehaltiger Maische herangezüchtet.

Ähnlich verhalten sich Mineralsäuren, wie Schwefelsäure, Salzsäure, schwefelige Säure teils ohne, teils mit sonstigen antiseptisch wirkenden Stoffen, wie Formalin, Ameisensäure usf. Irgend einen besonderen Einfluß auf die Entwicklung des Brennereigewerbes haben diese Verfahren bisher nicht gewonnen.

Bei dem von Bücheler angegebenen Verfahren der

Hefenbereitung wird ebenfalls Schwefelsäure verwendet, doch nur in solcher Menge, daß die im Maischmaterial, besonders in der Kartoffelmaische, von Natur aus vorhandenen organischen Salze mittels einer solchen Menge von Mineralsäure zersetzt werden, daß nur die organischen Säuren freigemacht werden, dagegen keine freie Mineralsäure in der Maische vorhanden ist, und die Maische darauf ohne Zuhilfenahme von Milchsäuregärung oder Säurezusatz bei der üblichen Temperatur mit Hefe angestellt wird.

Bei diesem Verfahren übernehmen mithin organische Säuren die Rolle des Antiseptikums, beziehungsweise der Milchsäure bei dem alten — und bewährten — Milchsäureverfahren. Das Büchelersche Verfahren besitzt insofern einen Vorzug, als es nicht nur die künstliche Säuerung umgeht, sondern weil hier auch die Akklimatisation der Hefe entfällt. Eine sachgemäße Prüfung des Verfahrens zeigte auch hier seine Brauchbarkeit, jedoch keine Überlegenheit gegenüber anderen Verfahren.

Ebenfalls neueren Datums, jedoch mehr auf dem physiologischen Verhalten der Hefe aufgebaut, sind die Verfahren der Hefenbereitung nach E. Bauer und W. Kues. Bauer verwendet an Stelle von Malz zur Bereitung des Hefengutes ein aus Brauereihefe durch Selbstverdauung (Wirkung der Endotryptase) gewonnenes Präparat, das er „Hefenährextrakt“ nennt, und das wegen der beigemengten Hopfenharze gleichzeitig auch antiseptisch zu wirken vermag. Dieser Hefenährextrakt enthält nun stickstoffhaltige Bestandteile in solcher Form, daß sie sehr gut zur Ernährung der Hefe geeignet sind. Sie wird daher gekräftigt und zu höheren Leistungen befähigt. Außerdem wird während der Hefenbereitung entweder Mineralsäure zugesetzt, oder nach dem Milchsäureverfahren gearbeitet. Die zuzusetzende Menge des Hefenextraktes wird nach dem Stärkegehalte der Kartoffeln bemessen, die Menge bewegt sich zwischen 300 Gramm Extrakt bei einem Stärkegehalte von 14 Prozent und 400 bis 420 Gramm bei einem Stärkegehalte über 18 Prozent auf je 100 Liter Hefemaische. Die Menge der zuzusetzenden Schwefelsäure richtet sich nach der Konzentration des Hefen=

gutes, sie beträgt für Hefengut mit 18 bis 20° Balling insgesamt 1·3°, für 23 bis 24° 1·5° Säure im Hefengute.

Auch über die Brauchbarkeit dieses Verfahrens wurden Versuche durchgeführt, wobei sich ergab, daß sich der Hefenextrakt bei der Verarbeitung von Kartoffeln mit gutem Erfolge verwenden läßt. Delbrück äußerte sich über die Rentabilität des Verfahrens folgendermaßen: „Da auf einen Bottich von 3000 Litern für die Hefenbereitung ungefähr 15 Kilogramm Gerste gebraucht werden und 100 Kilogramm Gerste ungefähr 14 Mark kosten, so werden für Minderverbrauch an Malzgetreide für jeden Bottich 2·10 Mark, für den Extrakt aber eine Ausgabe von 0·60 Mark (0·75 Kilogramm à 0·80 Mark) zu rechnen sein. Die Minderausgabe für einen Bottich würde somit 1·50 Mark betragen oder im Jahre bei 300 gemaischten Bottichen 450 Mark. Anderseits ist aber zu bedenken, daß die im Jahr weniger eingemaischten 4500 Kilogramm Malzgetreide einen Ausfall in der Spirituserzeugung von ungefähr 12 Hektoliter bedingen, so daß sich Gewinn und Verlust annähernd ausgleichen, falls nicht, wie behauptet wird, bei Verwendung von Extrakt eine reinere und gärkräftigere Hefe erzielt wird und infolgedessen eine bessere Verwertung der eingemaischten Stärke stattfindet.

Wenn wir das über die künstliche Säuerung des Hefengutes Gesagte zusammenfassen, so kommen wir zu dem Schlusse, daß eigentlich jedes der in seinen Grundzügen angedeuteten Verfahren praktisch brauchbar ist und die Säuerung des Hefengutes durch den Milchsäurepilz zu ersetzen vermag, daß aber keines so beschaffen zu sein scheint, um ihn dauernd aus der Brennerei zu verdrängen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß es eben heute, dank der Erkenntnis aller hierbei in Betracht kommenden Faktoren und dank der Verwendung von Reinkulturen des Bacillus Delbrücki möglich ist, die Säuerung mit dem Milchsäurepilz in geradezu idealer Weise durchzuführen, so daß gegenwärtig eigentlich gar kein Bedarf nach einer Abänderung oder Vereinfachung der Arbeitsweise besteht. Nur ein solches Verfahren der künstlichen Säuerung würde sich als durchaus anwendbar und lebensfähig erweisen,

welches wirklich einschneidende Vorteile, vor allem eine Erhöhung der Ausbeute bedingen würde.

5. Die Gärung der Hauptmaische.

Wir haben bisher ausschließlich die Bereitung des Hefengutes und die dabei zu beobachtenden Vorgänge besprochen. Nun wollen wir die Vorgänge bei der Gärung der Hauptmaische, die mit der Hefemaische angestellt wurde, erörtern.

Auch hier müssen alle Maßnahmen natürlich darauf hinauslaufen, den Vorgang so zu leiten, daß die Hefe nach Möglichkeit in ihrer Tätigkeit unterstützt wird und Nebengärungen nicht auftreten können. Als erster Grundsatz hat daher die Reinlichkeit zu gelten, ferner muß die günstigste Temperatur eingehalten werden können und endlich muß der Gärraum so beschaffen sein, daß er auch leicht und gründlich gelüftet werden kann.

Um die Gärräume von dem Einflusse der Außentemperatur nach Möglichkeit unabhängig zu machen, werden sie zweckmäßig unterirdisch angelegt. Allerdings kann dieser Forderung nicht überall entsprochen werden, weil die Kellerräume der Brennereien meist zur Malzbereitung dienen, doch muß dann, bei oberirdischen Gärräumen durch dicke Wände und gut schließende Türen und Fenster, Erwärmung oder Abkühlung durch Einwirkung der Außentemperatur nach Möglichkeit vermieden werden. Sind Gärräume so beschaffen, daß sie unter Umständen zu sehr auskühlen, so müssen Heizvorrichtungen vorgesehen werden. Die durch künstliche Erwärmung besorgte Temperaturerhöhung muß so gleichmäßig als möglich erfolgen, daher verdient die Dampf- oder Heißwasserheizung unbedingt den Vorzug vor der Aufstellung von Öfen.

Den Anforderungen der Reinlichkeit und Desinfektion wird am besten durch Herstellung eines fugenfreien Fußboden- und Wandbelages entsprochen. Zementböden sind unter allen Umständen am geeignetsten, doch leisten auch Böden aus Steinplatten oder Ziegeln gleich gute Dienste, wenn die Fugen gut verstrichen sind. Auch die Wände müssen glatt und fugenfrei sein, zweckmäßig ist es, sie mit einem

abwaschbaren Anstriche, wie Ölfarbe oder der sogenannten „Emailfarbe“, zu überziehen. An ihrer Stelle leistet auch ein Anstrich, hergestellt mit einer Lösung von 5 Teilen Asphalt in 4 Teilen Steinkohlenteer, gute Dienste, der wesentlich billiger ist.

Die Ventilationsvorrichtung muß zwar eine gründliche Lüftung des Gärraumes ermöglichen, darf jedoch nicht zur zu weit gehenden Abkühlung führen. Die Ventilationseinrichtung muß daher leicht zu handhaben und, wenn nötig, ganz außer Betrieb zu setzen sein. Die bei der Gärung entstehende Kohlensäure ist schwerer als die Luft und lagert sich am Boden des Gärraumes ab, es wird sich somit hauptsächlich darum handeln, in der Nähe des Bodens für Luftwechsel zu sorgen.

Die Gärgefäße (Gärbottiche) werden meist aus Eichenholz verfertigt, doch verwendet man in großen Betrieben auch Gärgefäße aus Zement, Glas oder Eisen. Sie besitzen neben anderen auch den Vorteil, daß sie sich leicht reinigen lassen. Hölzerne Gärgefäße werden zum Zweck der Konservierung des Holzes und um die feinen Risse und Poren zu schließen, mit heißem Leinöl oder mit Ölfarbe gestrichen. Empfehlenswert ist auch die Verwendung eines Lackes, den man durch Lösen von

10 Kilogramm Terpentin,
20 " Kolophonium,
2·5 " Schellack in
80 Liter 90prozentigem Spiritus

bereitet. Um den Lack haltbarer zu machen, wird er mit der Lötlampe in das Holz eingebrannt.

Die Gärgefäße werden stets auf Balkenunterlagen oder gemauerte Sockel, am besten aber auf eiserne Schienen oder Traversen aufgestellt, um auch den darunter befindlichen Raum gründlich reinigen zu können. Aus dem gleichen Grunde müssen auch zwischen den Gefäßen angemessene Zwischenräume verbleiben. Die Reinigung der Bottiche geschieht am besten durch Bestreichen mit frisch gelöschtem Kalk, der dann mit Wasser und Bürste entfernt wird.

Nach äußeren Merkmalen lassen sich bei der Gärung drei Stadien unterscheiden, die sich zwar nicht scharf voneinander abgrenzen, aber doch deutlich erkennbar sind. Man bezeichnet sie als Vorgärung, Hauptgärung und Nachgärung.

Die Vorgärung ist jenes Stadium, in dem sich die Hefe zunächst kräftig vermehrt. Dieser Vorgang ist zwar auch schon mit Kohlensäureentwicklung verbunden, doch wird die Kohlensäure zunächst gelöst und entweicht daher noch nicht in deutlich wahrnehmbarer Menge. Erst bis die Maische mit Kohlensäure gesättigt ist, beginnt sie in Blasen zu entweichen und nun werden auch die Gärungserscheinungen lebhafter. Nun bildet sich allmählich Schaum an der Oberfläche, die Maische beginnt zu steigen und endlich nimmt auch die Temperatur der gärenden Maische rasch zu.

Das Anstellen mit der Hefenmaische geschieht, wie erwähnt, bei einer Temperatur von 28 bis 30°, gleichzeitig wird aber mit der Abkühlung fortgefahren, bis die Anstelltemperatur von 15 bis 16° für wenig konzentrierte Maischen bis zu 20° Balling, oder für konzentrierte, für die eine längere Gärdauer zur Verfügung steht, erreicht ist. Sollen jedoch Dickmaischen mit 22 bis 24° Balling innerhalb kürzerer Zeit, etwa 72 Stunden, vergoren werden, so muß man mit einer höheren Anstelltemperatur, etwa 19 bis 21°, beginnen.

Für die Vermehrung der Hefe, die vor allem während der Vorgärung erzielt werden muß, wäre allerdings zunächst eine höhere Temperatur, etwa 25 bis 28° am günstigsten, doch würde dies später eine hohe Steigerung der Temperatur im Gefolge haben, wodurch die Gefahr von Infektionen vermehrt würde. Auch muß eine allzu rasche Vermehrung der Hefe vermieden werden, weil sie sonst physiologisch geschwächt und später nur mehr eine geringe Gärtätigkeit äußern würde. Endlich brächte die zu rasche Vermehrung der Hefe auch gleich zu Beginn der Gärung eine zu reichliche Alkoholbildung mit sich, wodurch wieder die Vermehrung beeinträchtigt wird. Man muß daher mit einer niedereren Anstelltemperatur (siehe oben) beginnen. Ausnahmen ergeben sich nur bei den Verfahren mit chemischer Säuerung der Maische (Flußsäure-

verfahren), wobei die Gärung weniger stürmisch, aber nachhaltiger verläuft.

Die Hauptgärung ist jenes Stadium, in welchem vorzugsweise der Zucker in Alkohol und Kohlensäure gespalten wird. Der Zeitpunkt, wann die Hauptgärung erreicht ist, hängt vornehmlich von der Anstelltemperatur ab. Bei niederen Anstelltemperaturen beginnt sie nach etwa 30 Stunden, bei höheren schon nach 15 bis 20 Stunden oder noch eher. Der Vorgang der Zuckerspaltung verläuft am günstigsten bei Temperaturen zwischen 27 und 30°. Er ist mit beträchlicher Wärmeentwicklung verbunden, daher muß dem Gange der Temperatur in der gärenden Maische im Stadium der Hauptgärung ganz besonderes Augenmerk zugewendet werden, weil die Überschreitung des Temperaturoptimums verschiedene Nachteile im Gefolge hat. Als solche sind einerseits die Schädigung der Hefe und die Gefahr von Spaltpilzgärung anzuführen, anderseits aber auch die Verluste an Alkohol durch Verdampfen und Mitreißen durch die Kohlensäure, die naturgemäß um so größer sind, je höher die Temperatur der Maische ist.

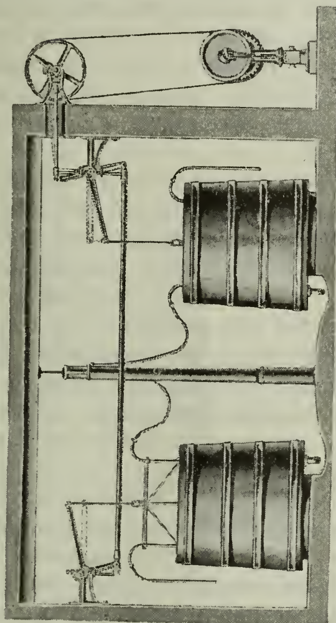
Nach Beobachtungen Maerckers beträgt die Temperatursteigerung

in	Maischen	von	20·0°	Balling	18° C
"	"	"	17·5°	"	16° C
"	"	"	15·0°	"	14° C
"	"	"	12·5°	"	12° C

Soll daher die obere Temperaturgrenze von ungefähr 30° nicht überschritten werden, so müßte man von sehr tiefen Anstelltemperaturen ausgehen und selbst dann würden nur ganz dünne Maischen keine zu starke Erwärmung erfahren. Zu niedere Anstelltemperaturen hätten aber eine unliebsame Verlängerung der Vorgärung und damit überhaupt der gesamten Gärdauer im Gefolge. Man muß daher zur künstlichen Kühlung greifen.

Früher verwendete man zur Kühlung der Maische während der Hauptgärung Eisschwimmer oder feststehende Kühlvorrichtungen, welche ihre Aufgabe jedoch nur in dünnen Maischen halbwegs befriedigend erfüllen. Dort, wo Dick-

maischen verarbeitet werden, ist es aus verschiedenen, schon an früherer Stelle erörterten Gründen wünschenswert und nötig, die Maische selbst zu bewegen und für gründliche und vor allem gleichmäßige, die ganze Menge der Maische umfassende Kühlung zu sorgen, die eben auch nur dadurch erreicht werden kann, daß man die Maische gleichzeitig bewegt, beziehungsweise durchmischt. Dies wird durch die Verwendung der beweglichen Kühlvorrichtung erzielt, deren Prinzip wir schon bei Besprechung der Kühlung des Hefengutes erörtert haben.



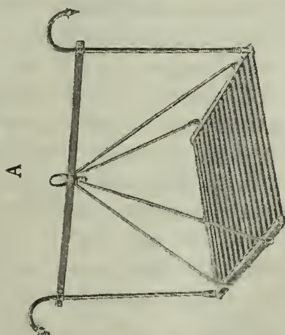


Fig. 38. Mechanische Gärbottichkühlung. A Kühltasche. Konstruktion der Aktiengesellsch. H. F. Eckert.

Bewegliche Bottichkühlungen werden in zahlreichen Konstruktionen angewendet, ihre wesentlichsten Unterschiede beruhen auf der Form und Anordnung der Kühlröhren und in der Art und Weise, wie sie in Bewegung erhalten werden.

Fig. 38 zeigt eine bewegliche Gärbottichkühlung, Konstruktion der Aktiengesellschaft H. F. Eckert, Berlin-Friedrichsberg. Mit der Verwendung solcher Vorrichtungen ist auch eine bedeutende Ersparnis an Steigraum in den Gärbottichen verbunden, und dies

besitzt dort besonderen Wert, wo die Besteuerung nach dem Inhalt der Gärbottiche stattfindet. Die zum Antrieb der beweglichen Bottichkühlung nötige Transmission wird an der Decke oder an den Seitenwänden des Gärraumes angebracht, sie besteht, ebenso wie bei den mechanischen Hefekühlern, aus einer Welle mit Hebeln, welche die ihnen erteilte auf und ab gehende Bewegung auf die angehängten Kühltaschen überträgt.

Man beginnt mit der Bottichkühlung, wenn sich die Maische auf ungefähr 23 bis 24° erwärmt hat und regelt nach Bedarf den Zufluß des Kühlwassers derart, daß die Temperatur 30° nicht überschreitet. Ist die Hauptgärung vorbei, so wird durch langsamere Kühlung die Temperatur auf 25 bis 27° erniedrigt, bei der die Nachgärung verläuft. Die Anwendung der beweglichen Bottichkühlung bringt auch den Vorteil mit sich, daß weniger Steigraum benötigt wird, auch wird die Kohlensäure besser entfernt, was ebenfalls günstig auf die Gärtätigkeit der Hefe einwirkt.

Die Nachgärung verläuft ruhiger und unter geringerer Wärmeentwicklung. Während in der Hauptgärung der schon vorhandene Zucker, also die Maltose, vergoren wird, vergärt in der Nachgärung das Dextrin. Dieses ist nun allerdings nicht direkt vergärbar, wird aber durch die Nachwirkung der Diastase verzuckert und damit ebenfalls gärungsfähig gemacht. Daher ist es unerläßlich, daß die Maische im Stadium der Nachgärung noch wirksame Diastase enthält. Wie wir wissen, liegt die Temperatur für die günstigste Wirkung der Diastase bei 50°, doch wäre es falsch, daraus zu folgern, daß die Vergärung der Dextrine um so besser und vollständiger verlaufen wird, je mehr man sich dieser Temperatur nähert. Es hat sich im Gegenteil gezeigt, daß die Nachgärung am besten bei einer Temperatur verläuft, die zwischen 25 und 27·5° liegt.

Wie wir aus dieser Darlegung ersehen, kommt es also auch bei der Vergärung der Maische darauf an, ein Kompromiß nach der Richtung zu schließen, daß die Hefe nach Möglichkeit in ihrer Tätigkeit unterstützt, die Entwicklung von Spaltpilzen nach Möglichkeit unterdrückt wird. Die Erzielung einer „reinen Gärung" ist auch hier die Hauptsache, dann

wird auch die größte technisch mögliche Menge an Alkohol erhalten werden. Wir begegnen daher auch hier wieder den Grundlehren von Delbrücks System der natürlichen Hefereinzucht. Die allgemeinen Grundsätze der Gärungsführung faßt der genannte Forscher in folgende Worte zusammen:

„1. Die Anstelltemperatur betrage bei 72stündiger Gärfrist je nach der Konzentration der Maische 17·5 bis 21° C; bei 96stündiger Gärung wird die Anstelltemperatur zweckmäßig niedriger, d. h. mit 15 bis 16° C gewählt.

2. Die Maische erwärme sich nicht zu schnell; die Temperatur von 27·5° C soll in der Hauptgärung möglichst nicht überschritten werden; eine Regelung der Temperatur durch Wärmeentziehung während der Gärung ist nur bei sehr dünnen Maischen (12 bis 15° Balling) zu entbehren: konzentrierte Maischen müssen während der Gärung gekühlt werden.

3. In der Nachgärung soll die Temperatur der Maische ebenfalls 27·5° C nicht überschreiten; eine allmählich erfolgende Abkühlung auf 25° C ist unbedenklich."

6. Normale und anormale Gärungserscheinungen.

Normale Gärungsvorgänge äußern sich in dem Auftreten bestimmter Erscheinungen in den gärenden Flüssigkeiten. Demnach pflegt man besonders die „wälzende oder rollende" und die „steigende und fallende" Gärung zu unterscheiden. Im ersten Falle findet eine gleichmäßige Kohlensäureentwicklung statt, wobei sich die Maische in gleichmäßiger Bewegung befindet, sie steigt in der Mitte des Bottichs empor und sinkt an den Rändern wieder zu Boden. Diese Form der Gärung besitzt den Vorzug, daß sie wenig Steigraum benötigt, sie tritt jedoch nur in dünnen Maischen auf, weil Dickmaischen dem Entweichen der Kohlensäure größere Hindernisse entgegenstellen, so daß sich diese Erscheinung dann nicht so regelmäßig abzuspielen vermag.

Bei der steigenden und fallenden Gärung wird die entstehende Kohlensäure durch die höhere Konzentration und die geringere Beweglichkeit der Maische zurückgehalten, sie kann daher immer gewissermaßen erst entweichen, bis sich eine solche Menge angesammelt hat, daß sie den Widerstand zu

überwinden vermag. Infolgedessen steigt während der Hauptgärung die Maische langsam empor, wobei sie die „Decke“ vor sich herschiebt. Ist endlich genügend Kohlensäure vorhanden, so entweicht sie sehr lebhaft, die Maische sinkt zurück und der Vorgang beginnt neuerdings sich abzuspielen („Deckengärung“). Die Deckengärung erfordert einen größeren Steigraum; bei der Verwendung entschalter Maische und der beweglichen Bottichkühlung tritt sie übrigens nur selten auf.

Neben diesen normalen Gärungsformen können jedoch auch anormale auftreten, die ihre Ursache teils in der Zusammensetzung der Maische, teils in der physiologischen Beschaffenheit der Hefe besitzen, meist wirken beide Faktoren zusammen. Hierher gehört vor allem die Schaumgärung.

Die Schaumgärung äußert sich dadurch, daß sich die Kohlensäureblasen nicht zerteilen, sondern an der Oberfläche der Maische, die zuerst ruhig emporsteigt, ohne jedoch wieder zurückzugehen, zu einer Unmenge trüben Schaumes ansammeln. Die Schaummenge vermehrt sich rasch, bald vermag der Bottich den Schaum nicht mehr zu fassen und nun beginnt der Schaum, beziehungsweise die Maische überzufließen, wobei große Mengen Maische verloren gehen können.

Zur Bekämpfung der Schaumgärung, beziehungsweise zur Niederhaltung des Schaumes verwendet man Petroleum, Öl oder reines Fett, das man in geringen Mengen auf die Oberfläche der Maische bringt, und zwar ist in der Regel um so weniger Öl oder Fett nötig, je früher man dieses Vorbeugungsmittel verwendet. Dadurch wird jedoch die Schaumgärung als solche nicht behoben, sondern nur ihre unangenehmste Erscheinung bekämpft. Seit man die wahre Ursache der Schaumgärung erkannt hat, ist es auch möglich, ihrem Auftreten ganz vorzubeugen.

Die Ursache der Schaumgärung ist nicht etwa eine unreine Gärung oder die Folge der Entwicklung von Spaltpilzen, sondern sie ist in einem besonders kräftigen physiologischen Zustande der Hefe zu sehen, die auch mit sehr guter Vergärung Hand in Hand geht. Das einzig unangenehme ist die übermäßige Schaumbildung, welche diese Gärungsform so unwillkommen macht. Delbrück, der sich zuerst mit der Er-

forschung der eigentlichen Ursachen der Schaumgärung befaßte, bezeichnet den erwähnten physiologischen Zustand der Hefe, in dem sie eine besonders lebhafte Tätigkeit entfaltet, als „Geilheit". Er ist teils manchen Hefenrassen eigentümlich, wie der schon wiederholt erwähnten Rasse II, teils können die Hefenrassen durch bestimmte Verhältnisse in diesen Zustand gelangen. Besonders führen reichliche Ernährung mit zusagenden stickstoffhaltigen Stoffen, dann Lüftung, Bewegung und günstige Temperatur, endlich und besonders rasche Vermehrung der Hefe bei geringer Aussaat zum „Vergeilen".

Mit der Erkenntnis dieser Tatsachen war auch schon das Mittel zur Abhilfe angedeutet, es besteht darin, die Hefe in einen mehr trägen Zustand zu versetzen. Dies wird erreicht, indem man die Hefe in einem stark sauren Hefengute führt, um die Sproßlust einzudämmen, indem man ein konzentriertes Hefengut mit viel Alkohol erzeugt und dieses weit vergärt. Auch das „Auffrischen" des Hefengutes muß unterbleiben, weil die Hefe dadurch neuerlich zur Sprossung angeregt wird. Es ist überhaupt darauf hinzuarbeiten, der Hefe nach Möglichkeit einen „kernigen" Charakter zu geben. Doch auch die Beschaffenheit der Maische kann zur Schaumgärung führen, diese hängt wieder von der Kartoffelsorte, dem Dämpfen usw. ab. Daher trägt auch die Erzeugung einer dünnflüssigeren Maische durch längeres und stärkeres Dämpfen zur Bekämpfung der Schaumgärung bei, dann Ablassen nach Möglichkeit großer Mengen Fruchtwasser, weil dieses besonders reich an den die „Geilheit" befördernden Amiden ist. Endlich sei auch die Verarbeitung stärkereicherer Kartoffeln mit stärkearmen und der Ersatz von Gerstenmalz teilweise durch Roggen- oder Hafermalz erwähnt.

Anormale Gärungserscheinungen werden ferner auch oft in Melassebrennereien beobachtet. Hier kann z. B. die schon besprochene Salpetergärung auftreten (siehe S. 228), wobei das sich entwickelnde Stickoxyd die Hefe entweder benachteiligt oder ganz unterdrückt. Auch Schaumgärung kommt vor, ist jedoch weniger unangenehm, weil Melassemaischen weit dünnflüssiger sind und daher weniger Neigung zum Überfließen besitzen. Endlich ist auch die „Schwergärigkeit

der Melassen" zu erwähnen, eine Erscheinung, die zumeist im Vorhandensein von Spaltpilzen ihre Ursache hat. Die Spaltpilze bewirken starke Säurebildung, wodurch die Entwicklung der Hefe gehemmt wird. Endlich kann auch das reichliche Vorkommen der Zuckerart Raffinose in Melassen zur Schwergärigkeit Anlaß geben, weil diese Zuckerart durch Oberhefe nur zu einem Drittel vergoren wird. In solchen Fällen rät Bau, zur Gärung Gemenge von Ober- und Unterhefe, am besten Hefe vom Typus „Frohberg" zu verwenden.

7. Die Amylobrennerei.

Die Verarbeitung von Getreide geschieht im großen und ganzen nach den gleichen Grundsätzen, die wir eben kennen lernten, wesentliche Unterschiede, auch hinsichtlich der Hefebereitung und der Gärführung, sind hier nicht vorhanden. Das gleiche gilt auch von der Verarbeitung des Maises, der zumeist im ganzen oder fein gemahlen gedämpft und dann verzuckert wird, worauf man die Maische mit Hefe anstellt und vergärt.

Doch hat sich in den letzten Jahren ein neues Verfahren zur Verarbeitung des Maises herausgebildet, welches von dem eben kurz geschilderten in mehr als einer Hinsicht abweicht und uns hier aus zwei Gründen besonders interessiert. Einerseits deshalb, weil hier außer der Hefe ein Schimmelpilz zur Verzuckerung der Stärke an Stelle der Diastase verwendet wird, und zweitens, weil das Verfahren so durchgebildet ist, daß es den Anforderungen der Fernhaltung fremder Mikroorganismen im weitgehendsten Maße zu entsprechen vermag. Es ist dies das nach dem zur Verzuckerung der Stärke verwendeten Schimmelpilze Mucor amylomyces als „Amylobrennerei" bezeichnete Verfahren.

Nach dem von Collette und Boidin angegebenen, in den meisten Ländern patentierten Verfahren, welches Eigentum der Gesellschaft „Amylo" in Brüssel ist, wird folgendermaßen gearbeitet: Der vorgebrochene Mais wird zunächst 1 bis $1^1/_2$ Stunden in salzsäurehaltigem Wasser eingeweicht und darauf samt der Flüssigkeit in den Henze-Dämpfer gebracht, wo er binnen 1 Stunde langsam gedämpft wird, indem man

den Druck nach und nach bis auf 4 Atmosphären steigert und 20 bis 25 Minuten beibehält. Man verwendet auf je 1000 Kilogramm Mais 2000 Liter Wasser von 55 bis 60° und 3 bis 6 Liter Salzsäure von 18° Bé; die Menge der Salzsäure wird so bemessen, daß nach Beendigung des Weichens freie Säure mit Alizarinrot als Indikator nicht mehr nachgewiesen werden kann. Die Säure wirkt einerseits lockernd auf das Zellgewebe, anderseits bewirkt sie im Vereine mit der hohen Temperatur im Dämpfer eine Aufschließung der Stärke, wobei diese in die lösliche Modifikation übergeht. Die gelöste Stärke scheidet sich allerdings während des Erkaltens der Maische zum Teil wieder aus, doch in so fein verteilter Form, daß sie später durch den Schimmelpilz mit Leichtigkeit wieder gelöst wird.

Es ist klar, daß durch das Dämpfen des Maises gleichzeitig eine vollständige Sterilisierung des Maises stattfindet. Er wird nun aus dem Dämpfer unmittelbar in den Gärbottich geblasen, der natürlich vorher ebenso gründlich sterilisiert ist und dementsprechend eine besondere Einrichtung besitzt. Um auch unterwegs jede Infektion zu vermeiden, wird das Zuführungsrohr vom Dämpfer vor dem Einblasen durch einen kräftigen Dampfstrom desinfiziert.

Die Gärgefäße sind vollständig geschlossen, so daß auch hier während der ziemlich lange währenden Gärdauer keine Infektion stattfinden kann. Sie sind mit einem Mannloche zur Reinigung, mit verschiedenen Hähnen und endlich mit dem Abzugsrohre für die Kohlensäure versehen. Dieses mündet jedoch nicht frei, sondern taucht in ein Gefäß mit Wasser, wodurch auch hier ein keimsicherer Abschluß erzielt wird; die Kohlensäure wird schließlich entweder direkt ins Freie geleitet oder aber verflüssigt. Um die Temperatur im Innern der Gärgefäße, wo sich auch ein Rührwerk befindet, regeln zu können, läßt sich die Wandung der Gärgefäße von außen berieseln.

Die Aussaat der Kultur des Schimmelpilzes erfolgt bei 39°. Um sie unter Vermeidung einer Infektion in das Gärgefäß bringen zu können, ist auf dessen Deckel eine Vorrichtung angebracht, ähnlich den „Impfstutzen“ der Pasteur-

kolben (siehe S. 268). Der Schimmelpilz wird in Glaskolben auf Reis gezüchtet, einige Stunden vor der Verwendung bringt man sterilisiertes Maischfiltrat in den Kolben, worauf die Sporen des Amylomyces bald zu keimen beginnen. Gelangt die Kultur dann in die Maische, wo sie durch Rühren verteilt wird, so entwickelt sich bald ein kräftiges Myzel, das nach 25 bis 30 Stunden die Maische durchsetzt. Durch Rühren und Durchleiten filtrierter und sterilisierter Luft wird der Vorgang befördert. Amylomyces produziert ein stark diastatisch wirkendes Enzym, welches die Verzuckerung der Stärke besorgt. Mucor amylomyces ist jedoch auch bei Abwesenheit von Sauerstoff imstande, Zucker zu vergären, allerdings ist seine zymatische Tätigkeit so schwach, daß man ihn in der Amylobrennerei durch Aussaat von Hefe zu unterstützen pflegt.

Die Hefe, welche hier verwendet wird, ist eine besondere Art (Levure Fiquet), welche imstande ist, den Zucker bei relativ hohen Temperaturen zu vergären (38°). Sie wird unter den gleichen Vorsichtsmaßregeln, wie die Kultur des Amylomyces in das Gärgefäß gebracht und natürlich auch in Reinkultur verwendet. Ist sie eingebracht, so wird mit dem Lüften fortgefahren, bis sich die ersten Spuren der Gärung zeigen, dann wird die Luftzufuhr abgestellt, das Rührwerk bleibt jedoch während des gesamten Verlaufes der Gärung in Tätigkeit. Nach 24 Stunden hat sich dann die Hefe so kräftig vermehrt, daß nun auch die Alkoholbildung einsetzt, inzwischen hat das diastatische Enzym des Schimmelpilzes aber die Umwandlung der Stärke noch weiter besorgt.

Die bei sorgfältiger Durchführung des Amyloverfahrens erzielbaren Ausbeuten übertreffen jene der gewöhnlichen Brennereiverfahren bedeutend. Theoretisch soll 1 Kilogramm Stärke 71·6 Literprozent Alkohol oder — da 1 Literprozent 10 Kubikzentimeter absoluten Alkohol bedeutet — 716 Kubikzentimeter absoluten Alkohol geben. Selbst bei sehr günstig verlaufender Gärung werden aber nur 94 Prozent Stärke wirklich in Alkohol und Kohlensäure gespalten, unter Berücksichtigung dieses Verlustes von 6 Prozent ist mithin nur eine Ausbeute von 67·30 Literprozent Alkohol aus 1 Kilogramm

reiner Stärke möglich. Selbst in den bestgeleiteten Brennereien wird eine so hohe Ausbeute jedoch nie erhalten, weil mit dem Betriebe selbst unvermeidliche Verluste verbunden sind, die allerdings durch besonders tadellose Arbeitsweise wesentlich eingeschränkt, umgekehrt durch schlechtes Arbeiten ganz wesentlich erhöht werden können. Maercker berechnete diese Verluste

in gut	geführten	Betrieben	zu	15·0 Prozent
„ mittelgut	„	„	„	19·8 „
„ schlecht	„	„	„	27·4 „

Wird mithin die theoretische Ausbeute gleich 100 gesetzt, so werden von dem im Rohmateriale enthaltenen Stärkemehle tatsächlich zu Alkohol und Kohlensäure verarbeitet und daraus gewonnen im guten Betriebe:

85·0	Prozent	entsprechend	60·0	Literprozent	Alkohol
80·2	„	„	57·4	„	„
72·6	„	„	52·0	„	„

Wie nun zahlreiche Versuche gelehrt haben, läßt sich durch das Amyloverfahren eine weit höhere Ausbeute erzielen. 98 Kilogramm Mais mit einem Stärkegehalte von 60 Prozent und 2 Kilogramm Gerste als Malz (in neuester Zeit wird das Malz ganz weggelassen, deshalb erwähnten wir es nicht in der Beschreibung) ergeben bei sorgsamster Arbeit bis zu 39·6 Literprozent Alkohol. Dies entspricht einer Ausbeute von mehr als 92 Prozent oder rund 66 Literprozent Alkohol, während in ganz vorzüglich geleiteten Betrieben mit dem gewöhnlichen Gärverfahren nur Höchstausbeuten bis zu 88 Prozent, entsprechend 63 Literprozent Alkohol erzielt wurden.

Das Amyloverfahren zeichnet sich mithin nicht nur durch große Einfachheit und dadurch aus, daß es allen Anforderungen an ein modernes Gärverfahren hinsichtlich der Vermeidung von Infektionen entspricht, sondern es bringt auch so hohe Ausbeuten, wie sie nach anderen Verfahren niemals erzielt werden können. Allerdings besitzt es hauptsächlich für die Verarbeitung von Reis und Mais, also von

sehr stärkemehlhaltigen Stoffen Bedeutung, doch ist der Mais eine Pflanze, die ziemlich weit nach Norden geht und daher ist auch die Möglichkeit für die Verwendung des Verfahrens an vielen Orten gegeben. Gegenwärtig wird es besonders in vielen großen Brennereien in Brasilien, Argentinien und Mexiko, dann in den französischen Kolonien, außerdem aber auch in Frankreich, Belgien und Italien, sowie in Ungarn ausgeübt.

Der Gedanke lag nahe, das Amyloverfahren auch zur Verarbeitung von Kartoffelmaischen heranzuziehen, doch scheitert dies, wie Delbrück gezeigt hat, daran, daß sich bei der Sterilisierung der Kartoffelmaischen Stoffe bilden, welche die Entwicklung des Mucor amylomyces lähmen. Nach neueren Mitteilungen Boidins soll es jedoch nicht ausgeschlossen sein, daß es auch gelingen wird, Kartoffeln nach dem Amyloverfahren zu verarbeiten.

VI. Abschnitt.

Die Fabrikation der Preßhefe.

Während in der eigentlichen Spiritusbrennerei der Alkohol das Hauptprodukt ist und die Hefe nur das Mittel zum Zweck bildet, wird sie in der Preßhefefabrikation direkt gezüchtet und das Verfahren so geleitet, daß eine nach Möglichkeit große Hefemenge erzeugt wird. Der aus der vergorenen Maische gewonnene Alkohol bildet gewissermaßen hier das Nebenprodukt. Die Preßhefe (Pfundhefe, Bäckerhefe ꝛc.) bildet einen wichtigen Handelsartikel, sie wird in bedeutenden Mengen zur Lockerung des Brotteiges verbraucht und dient auch dort, wo man keine Reinkulturen verwendet, als Anstellhefe im Brennereibetriebe. Auch in den Hefefabriken wird heute selbstverständlich nach allen Geboten der modernen Forschung gearbeitet, man benutzt besondere Reinhefen, arbeitet nach den Prinzipien der „natürlichen Reinzucht“ usf. Der wesentlichste Unterschied gegenüber den Spiritusbrennereien liegt aber darin, daß man das Verfahren so leitet, um neben Alkohol nach Möglichkeit viel Hefe zu gewinnen. Auch hier waren in den letzten Jahren zahlreiche Verbesserungen und Vervollkommnungen zu verzeichnen.

Im allgemeinen können wir zwei Verfahren der Preßhefebereitung unterscheiden: das „alte“ oder „Wiener Verfahren“ und das „neue“ oder Lüftungsverfahren. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Methoden beruht darin, daß nach dem Wiener Verfahren dünne, treberhaltige Getreidemaischen verarbeitet werden, von deren Oberfläche man den Hefeschaum abschöpft, während nach dem Lüftungsverfahren

Würzen, also treberfreie Maischen verarbeitet und das Wachstum durch Lüftung der Hefe befördert wird. In beiden Fällen wird die hinterbleibende vergorene Maische, beziehungsweise Würze zur Alkoholgewinnung verwendet.

A. Das Wiener Verfahren.

Die Arbeitsweise in den nach dem alten oder Wiener Verfahren arbeitenden Preßhefefabriken ist folgende:

Verarbeitet werden verschiedene Stoffe, wie Roggen, Mais, Buchweizen, ferner Kartoffeln, Darr- und Grünmalz und Schlempe. Diese wird deshalb verwendet, weil sie immer noch reichliche Mengen löslicher Stoffe enthält, die der Hefe als Nahrung dienen können, ferner reagiert sie durch die vorhandene Milchsäure sauer und bewirkt daher eine Vermehrung des Säuregehaltes.

Aus den Rohstoffen wird zunächst in bekannter Weise die Maische bereitet. Man verzuckert wie gewöhnlich durch Diastase, doch werden die Maischen naturgemäß viel dünner hergestellt (9 bis 14° Balling), wie wenn es sich bloß um Spiritusgewinnung handelt.

Die Hefe wird ganz unter den gleichen Gesichtspunkten bereitet, wie für die Brennerei, und auch wie diese, am besten unter Verwendung von Reinkulturen des Milchsäurebazillus gesäuert. Doch wird im allgemeinen eine stärkere Säuerung — 2·5 bis 3·3° oder Kubikzentimeter Normalnatronlauge für 20 Kubikzentimeter Filtrat — verwendet. Um gute, reine und haltbare Preßhefe zu erzeugen, ist eben hier noch mehr auf die Unterdrückung von Nebengärungen zu sehen, wie bei der Spiritusfabrikation. Das Hefengut wird aus Darrmalz- und Roggenschrot bereitet, die Konzentration beträgt ungefähr 26° Balling. Nach vollendeter Säuerung wird das Hefengut auf 23 bis 24° abgekühlt, dann mit der Mutterhefe — oder zu Beginn der Kampagne mit einer Reinkultur einer geeigneten Hefenrasse — angestellt und dann noch weiter, je nach der Temperatur des Gärlokales abgekühlt.

Ist die Hefenmaische bis auf etwa 14° Balling vergoren, was nach 7 bis 8 Stunden der Fall zu sein pflegt,

so wird die Mutterhefe abgenommen und für die nächste Hefenmaische aufbewahrt. Man läßt nun die Hefenmaische noch weiter vergären, etwa auf 8 bis 9° Balling, worauf sie zum Anstellen der Hauptmaische verwendet wird. Während der Gärung des Hefengutes läßt man im allgemeinen die Temperatur höher steigen, mitunter bis auf 34°. Zum Kühlen des Hefengutes verwendet man auch hier mechanische Hefenkühler, deren Einrichtung schon auf S. 305 besprochen wurde.

Die Menge der zur Anstellung des Hefengutes verwendeten Mutterhefe oder Preßhefe beträgt bei Verwendung von Mutterhefe allein 10 Prozent des gemaischten Hefengutes nach Litern, auf 100 Kilogramm Schrot werden mithin 100 Liter Mutterhefe verwendet. Wird gleichzeitig mit Mutterhefe und Preßhefe angestellt, so pflegt man 50 Prozent Mutterhefe in Litern und 2 Prozent trockene Hefe in Kilogramm, also für 100 Kilogramm Schrot 50 Liter Mutterhefe und 2 Kilogramm Preßhefe zu verwenden. Wird ohne Verwendung von Mutterhefe, nur mit Preßhefe gearbeitet, so pflegt man 4 bis 4·5 Prozent Hefe vom Gewicht des vermaischten Schrotes zu verwenden.

Auch bei der Preßhefefabrikation ist es naturgemäß sehr wesentlich, daß die Hefe, wenn sie zum Anstellen der Hauptmaische benutzt wird, den richtigen Reifegrad besitzt. In der Praxis werden dazu verschiedene Erkennungszeichen benutzt, doch ist vor allem das Aussehen der Hefe unter dem Mikroskope maßgebend. Durst sagt in seinem „Handbuch der Preßhefefabrikation" hierüber folgendes: „Die Hefe ist dann zur Verwendung reif, wenn die Neubildung von Hefezellen in der Nährflüssigkeit aufgehört hat, wenn die noch vorhandenen Sproßzellen die Größe der Mutterzellen erreicht haben und eben im Begriffe stehen, sich von ihnen abzuschnüren. Der Vergärungsgrad der Hefenmaische muß zu diesem Zeitpunkte auf $^1/_3$ bis $^1/_4$ der ursprünglichen Konzentration gesunken, es muß also $^2/_3$ bis $^3/_4$ der ursprünglichen Saccharometeranzeige vergoren sein."

Allerdings ist das Verhalten auch verschieden, je nachdem man dünn oder dick gemaischtes Hefengut verarbeitet.

Dünn gemaischtes Hefengut gärt meist mit einer Decke, dickgemaischtes dagegen ohne Decke. Bei der Gärung mit Decke sinkt im Stadium der Reife die Decke ein und zeigt mehr Vertiefungen als Erhöhungen, wobei auch die Schaumblasen trübe werden und die Entwicklung der Kohlensäure nachläßt. Bei der Gärung ohne Decke, also bei dünneren Maischen ist der Reifezustand überhaupt an dem Nachlassen der Gärungserscheinungen zu erkennen, infolge der weit geringeren Kohlensäureentwicklung bietet dann die Oberfläche ein ruhiges Aussehen und dann ist zumeist auch die Reife eingetreten.

1. Die Vergärung der Hauptmaische.

Wie erwähnt, sind die Hauptmaischen der Preßhefefabriken meist weit weniger konzentriert, als die der Spiritusbrennereien. Über die Bereitung der Maische ist hier nichts besonderes zu sagen, nur sei bemerkt, daß ihr Säuregehalt bei Verwendung von Schwefelsäure etwa 0·25°, bei Verwendung von Schlempe als Säuerungsmittel etwa 0·5 bis 0·6° beträgt. Der Unterschied ist darauf zurückzuführen, daß eine Säuerung mit Schwefelsäure geringer bemessen werden muß, als mit Milchsäure, weil die Hefe gegen Mineralsäuren empfindlicher ist.

Die Säuerung der Hauptmaische könnte unter Umständen auch ganz unterbleiben, doch ist es aus den schon erörterten Gründen natürlich weit besser, ja sogar einzig rationell, die Maischen zu säuern. Man erzielt dann weit reinere Gärungen und dadurch auch reine und gute Preßhefe, die nicht durch Bakterien verunreinigt ist. Zur Säuerung wird entweder Schwefelsäure oder Milchsäure (Schlempe) verwendet. Wird mit Schwefelsäure gearbeitet, so soll ihre Menge derart bemessen werden, daß der Säuregehalt der Maische etwa 0·25°, entsprechend 0·25 Kubikzentimeter Normalnatronlauge auf 20 Kubikzentimeter Maischfiltrat beträgt. Eine stärkere Säuerung ist nicht nur nicht nötig, sondern wäre nachteilig, weil darunter die Vermehrung der Hefe leiden würde. Werden Kartoffelmaischen zur Hefegewinnung verwendet, so ist zu beachten, daß die Kartoffeln selbst viel zu

wenig Eiweißkörper enthalten, um eine kräftige Entwicklung und Vermehrung der Hefe zu ermöglichen. Will man daher nicht sehr große Mengen Malz mit verarbeiten, so muß man, um die zur Hefeproduktion nötigen Nährstoffe in ausreichender Menge zur Verfügung zu haben, solche in anderer Form zufügen. Man verfährt dann am besten in der Weise, daß man die Kartoffelmaische mit frischer Schlempe verdünnt. Wirklich gute, triebkräftige Preßhefe wird jedoch zumeist nur aus Getreidemaischen erzeugt.

Die gesäuerte und entsprechend gekühlte Maische wird mit dem Hefengute versetzt und dann der Gärung überlassen. Nach 15 bis 19 Stunden hat sich dann an der Oberfläche „reifer Hefenschaum" angesammelt, der zum Schöpfen reif ist. Auch hier ist es natürlich höchst wichtig, den richtigen Zeitpunkt der Reife zu erkennen. Der ursprünglich „glasige" Schaum wird immer mehr hefig, die einzelnen Kohlensäureblasen sind von Maische umschlossen, welche trüb aussieht und auf welcher man kleine Hefemassen verteilt wahrnimmt. Diese Erscheinung zeigt sich zwar so ziemlich in der gleichen Weise immer dann, wenn die Gärung regelmäßig verläuft, doch sind auch hier gewisse Erkennungszeichen von Wert. Als das beste Zeichen wird es angesehen, wenn die Schaumblasen nur geringe Größe besitzen und nur wenig durchsichtig sind, die Farbe soll weiß sein. Das Auftreten großer, bläulichweiß gefärbter, dem Aussehen schlechter Milch ähnlicher Hefeblasen deutet auf Unregelmäßigkeiten in der Hefenbildung hin. Auch das Verhalten des Hefenschaumes ist maßgebend. Wird er von der Oberfläche der gärenden Maische abgeschöpft und einige Zeit in einem Gefäße der Ruhe überlassen, so soll er sich in eine milchig aussehende Flüssigkeit verwandeln. Dann sind sicher kräftig entwickelte Hefezellen in großer Menge vorhanden, je weniger milchig dagegen seine Beschaffenheit wird und je durchsichtiger die Flüssigkeit ist, desto weniger günstig ist die Beschaffenheit der Hefe.

Auch der Vergärungsgrad der Würze dient als Anhaltspunkt. Die Saccharometeranzeige soll zur Zeit der Reife auf rund $^{1}/_{3}$ der ursprünglichen gesunken sein, doch muß dies

nicht immer zutreffen, weil die Vergärung auch von zahlreichen anderen Umständen, so von der Temperatur, der Zusammensetzung der Maische usf. beeinflußt wird und daher die Hefe auch schon früher, oder erst später reif werden kann.

Durst tritt daher dafür ein, den Zeitpunkt der Reife vor allem nach äußeren Kennzeichen zu beurteilen. Er empfiehlt nicht eher mit dem Schöpfen zu beginnen, als bis die Blasen sich milchig überziehen, auch wenn der Schaum im Bottich schon vorher zu fallen beginnt. Werden die Blasen schon vor dem Fallen des Schaumes milchig-trübe, so ist schon zu diesem Zeitpunkte mit dem Schöpfen zu beginnen. Bleibt der Schaum fest stehen, und sind gleichzeitig die Blasen schon längere Zeit milchig-trübe, so kann folgendes Mittel als Erkennungszeichen für die Reife dienen: Man bläst in den Schaum, fallen die Blasen dabei leicht zusammen, so ist die Hefe reif, sperren sie sich, d. h. kann man sie zur Seite blasen, ohne daß sie platzen, so ist die Hefe noch nicht ganz reif. Das sicherste Kennzeichen für das normale Verhalten des Schaumes ist, wenn die Blasen trübe werden und der Schaum ganz wenig in der Mitte und am Rande des Bottichs zu fallen beginnt.

Anormale Gärungserscheinungen treten auch hier auf, doch ist besonders die Schaumgärung nicht so lästig, weil die weit dünneren Maischen weniger Neigung zum Überfließen besitzen, wie die Dickmaischen der Brennereien. Die Mittel zu ihrer Behebung sind die gleichen, die schon bei Erörterung der Schaumgärung in den Brennereien (siehe S. 320) besprochen wurden.

2. Das Abnehmen des Hefenschaumes.

Wenn der Hefenschaum reif geworden ist, so wird mit dem Abschöpfen begonnen. Man benutzt dazu verschieden geformte Geräte, meist flache Schaufeln, mit denen der Schaum von der Flüssigkeit abgehoben wird, worauf er in das Trennungssieb gelangt. Werden Maischen verarbeitet, von welchen die Hülsen des Malzes und alle anderen in ihnen schwebenden festen Körper nicht abgenommen wurden, so ist

ziemlich viel Arbeit nötig, um die Hefe, die mit den Hülsen vermengt aufgetrieben wird, von diesen zu trennen. Man sucht dem einigermaßen dadurch abzuhelfen, daß man, noch ehe der Hefenauftrieb beginnt, die an der Oberfläche der Maische angesammelten Hülsen so vollständig als möglich abschöpft. Bedeutend besser ist es daher, die Maische, ehe sie

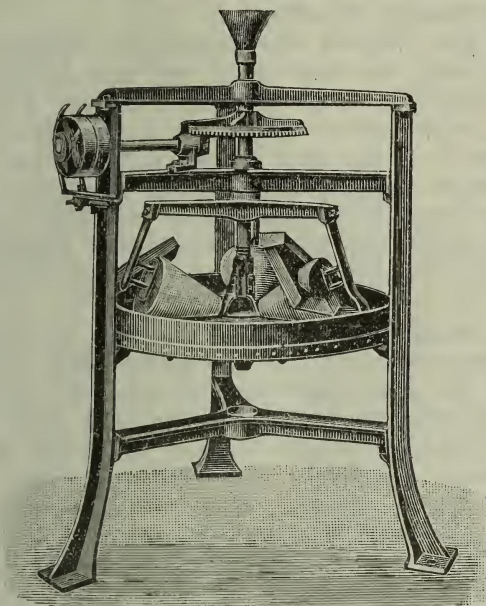


Fig. 39. Hefensiebmaschine, System Hagspihl. Ausgeführt von der Maschinenfabrik R. Raupach in Görlitz.

in den Gärbottich gelangt, zu entschalen, man erhält dann die Hefe schon ziemlich rein und das Trennungssieb dient dann nur dazu, die Schalenreste zu entfernen.

Man verwendet entweder gewöhnliche, aus Roßhaargewebe verfertigte Siebe oder Siebvorrichtungen, welche zur Bewältigung größerer Mengen bestimmt sind. Das Abnehmen des Hefenschaumes wird so lange fortgesetzt, als über-

haupt noch nennenswerte Mengen Hefe an die Oberfläche der Maische gelangen. Ist der Hefenschaum so ziemlich entfernt, so zieht man den Rest mit dem Streichbrett, einer dünnen, biegsamen Holzleiste, nach einer Seite zusammen, um ihn hier bequemer abschöpfen zu können.

Fig. 39 zeigt die Hefensiebmaschine System Hagspihl, ausgeführt von R. Raupach, Maschinenfabrik in Görlitz. Sie besitzt folgende Einrichtung:

Die Hefe wird in den Trichter der Maschine geleitet und läuft durch die hohle Welle auf eine kegelförmig gespannte Siebfläche, unter rotierende Walzen. Die Walzen pressen die Hefe aus den mitgeführten Trebern, soweit dieselbe nicht selbst durch das Sieb abläuft, rein aus und nehmen, vermöge ihrer eigentümlichen Oberfläche die Treber auf, um sie einem seitlichen Abführungskanal selbsttätig zuzuführen. Die Hefe läuft vollständig rein durch einen Stutzen ab und kann mittels angeschlossener Rohre beliebig weitergeführt werden.

Die Hefensiebmaschine besteht aus einem, durch Traversen verbundenen, starren eisernen dreiteiligen Gestell, welches alle Teile der Maschine trägt. In dem Gestell ist eine Vorlegewelle mit fester sowie loser Riemenscheibe und konischem Getriebe wagerecht gelagert. Mitten im Gestell ist die in einen Trichter auslaufende hohle Welle entsprechend senkrecht eingebaut. Dieselbe trägt ein konisches Rad, welches mit dem Getriebe der Vorgelegewelle im Eingriff steht und Führungsarme, in denen drei konische Walzen beweglich angeordnet sind. Die Walzen sind mit sehr festem glatten Stoff überzogen und laufen auf einem kegelförmigen feinen Gewebe, welch letzteres über einen leicht abnehmbaren Ring gespannt ist und mittels einer Schraube nachgespannt werden kann. Direkt unter dem Gewebe ruht auf einem eisernen, durchbrochenen Teller ein Kupfersieb. Nach unten ist der Teller durch einen gewölbten eisernen Boden abgeschlossen, der in einen Stutzen ausläuft und mittels Wirbeln befestigt ist. Rund um den Teller läuft eine Rinne, in welche die von den Walzen abgestrichenen Trebern mit Hilfe der Abstreichebleche geführt werden. Der Boden der Rinne besitzt an einer Stelle

eine Öffnung. In der Rinne bewegen sich mit den Walzen drei Arme, welche die Trebern fortgesetzt der Öffnung zuführen, wodurch ein ununterbrochener Betrieb erreicht wird.

Sehr wesentlich für die Haltbarkeit und Beschaffenheit der Preßhefe ist es, schon während des Abschöpfens die Hefe so gut als möglich von der Würze zu trennen. Dies bezweckt, ihr weitere Nährstoffe zu entziehen und das Schleimigwerden zu verhüten, das seinerseits wieder das schlechte Abpressen bedingen würde. Stehen der Hefe nämlich noch Nährstoffe zur Verfügung, so würde sie diese weiter vergären, anderseits würde aber doch keine regelrechte Ernährung der Hefe mehr stattfinden und dies würde zur Entkräftung führen.

Nach dem Abschöpfen muß die Hefe sogleich ausgewaschen werden. Auch dies hat den Zweck, die letzten Reste der Maische und von gärungsfähigen Körpern überhaupt zu entfernen, doch darf das Auswässern nicht zu gründlich vorgenommen werden, weil sonst ebenfalls die Hefe geschwächt wird. Man muß daher das Auswaschen der Hefe so rasch als möglich mit nicht zu viel Wasser durchführen, auch soll das Wasser nicht übermäßig kalt sein, wenn auch kaltes Wasser vorteilhaft ist. Im allgemeinen kann als Grundsatz gelten, daß die Hefe nur so lange mit dem Waschwasser in Berührung bleiben soll, als unbedingt erforderlich ist, ferner daß das Waschwasser keinesfalls zu warm sein darf (zirka 10° C), sehr kaltes ist warmem unbedingt vorzuziehen.

Zumeist hält man zweimaliges Waschen der Hefe mit frischem Wasser für hinreichend und erfahrungsgemäß genügt diese Behandlung auch vollständig, wenn die Hefe nicht längere Zeit aufbewahrt oder verschickt werden soll. Wenn es sich aber — und namentlich während der wärmeren Jahreszeit — darum handelt, Hefe herzustellen, welche größere Haltbarkeit besitzen muß, so ist unter Umständen auch ein mehrmaliges Waschen am Platze.

Die Ausführung des Waschens kann in sehr einfacher Weise erfolgen. Meist verwendet man runde oder ovale Gefäße, die in verschiedener Höhe mit Zapflöchern versehen sind. Wenn sich die Hefe abgesetzt hat, so werden diese Zapfen herausgeschlagen und das Waschwasser läuft ab.

Zweckmäßiger und für größere Betriebe unbedingt empfehlenswerter sind gemauerte oder aus Zement verfertigte rechteckige Behälter, die innen mit Glas- oder Tonplatten ausgekleidet sind. Das Ablässen des Wassers geschieht hier durch umlegbare Messingrohre. An der Oberfläche des Wassers scheidet sich ein leichter Schaum ab, der aus Hefezellen besteht, die nicht zu Boden sinken. Weil dies vorwiegend schwache und wenig kräftige Zellen sind, so wird dieser Schaum abgeschöpft. In den Absatzgefäßen setzt sich schließlich die Hefe innerhalb 3 bis 4 Stunden ab, sie wird dann abgepreßt und schließlich „gepfundet".

3. Das Pressen der Hefe.

Früher verwendete man in den Hefefabriken zum Abpressen der Hefe Hebel- oder Spindelpressen, die zwar insoferne günstig arbeiten, als die Hefe nur nach und nach dem stärkeren und stärksten Drucke ausgesetzt wurde, die jedoch deshalb unzweckmäßig sind, weil sie nur langsames Arbeiten gestatten und viel Raum wegnehmen. Man ist daher allgemein zur Anwendung der Filterpressen übergegangen.

Die Filterpressen bestehen aus einer Anzahl Kammern, die mit den Filtertüchern ausgelegt sind und untereinander in Verbindung stehen. Die Kammern werden aus Rahmen zusammengesetzt, die durch den Druck einer Schraube aneinandergepreßt sind. Während des Zusammensetzens der Presse spannt man zwischen je zwei Rahmen ein Preßtuch aus, bis alle Kammern — je nach der Größe der Presse ist die Zahl verschieden — aneinandergelegt sind. Dann beginnt die Pumpe zu arbeiten, welche den Hefenschlamm in die Kammern preßt. Diese füllen sich mit der Flüssigkeit, das Wasser durchdringt die Filtertücher und läuft ab, während die Hefe schließlich als fester, trocken anzufühlender Kuchen die Kammern erfüllt.

Filterpressen werden nach zwei verschiedenen Typen hergestellt, man unterscheidet:

Kammerfilterpressen, bei denen die Filtertücher am Eingangskanal mittels Verschraubung befestigt und abgedichtet

werden. Die Kuchen erhalten in der Mitte, entsprechend dem Eingangskanal, ein Loch und fallen beim Auseinanderschieben der Kammern unten heraus. Diese Ausführungsart findet besonders dort Verwendung, wo es speziell auf das Klären von Flüssigkeiten ankommt, z. B. Brauereien, Chemischen Fabriken ꝛc.

Rahmenfilterpressen, bei denen zwischen den einzelnen Kammern herausnehmbare Rahmen angeordnet sind. Die Filtertücher werden nur über die Platten gehängt, also nicht verschraubt. Die Kuchen sind ohne Loch und werden beim

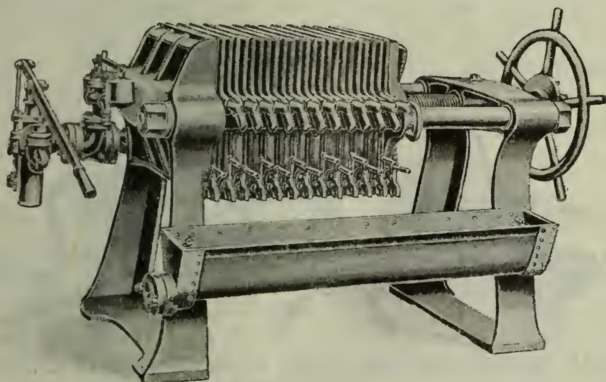


Fig. 40. Rahmenfilterpresse für Lufthefefabriken. Konstruktion der Maschinenfabrik C. G. Bohm.

Auseinanderschieben der Kammern mit samt den Rahmen, in welchen sie hängen bleiben, aus der Presse herausgehoben. Sie werden vorteilhaft dort angewendet, wo es speziell auf die Abscheidung fester Substanzen ankommt, z. B. Hefefabriken ꝛc.

Die filtrierte Flüssigkeit kann, je nach dem Verwendungszweck der Filterpresse und der Materialbeschaffenheit, aus den einzelnen Kammern mittels Auslaufschnauzen frei abfließen, oder durch Abstellhähne abgelassen werden, um in die darunter befindliche Sammelabflußrinne zu gelangen.

Ist es erforderlich, die in der Filterpresse befindlichen

Kuchen noch von irgend welchen löslichen Beimengungen zu befreien, so wird die Presse mit Auslaugvorrichtung versehen.

Fig. 40 zeigt eine Rahmenfilterpresse, Konstruktion der Maschinenfabrik C. G. Bohm, Fredersdorf a. d. Ostb. bei Berlin, die besonders für die Zwecke der Preßhefefabrikation geeignet ist.

Die Presse wird dann entleert, worauf die Hefe in Pakete geformt und verpackt wird. Das Formen wird ebenfalls meist mit besonderen Maschinen durchgeführt, sie bestehen im wesentlichen aus einem kegelförmigen Rohre, in

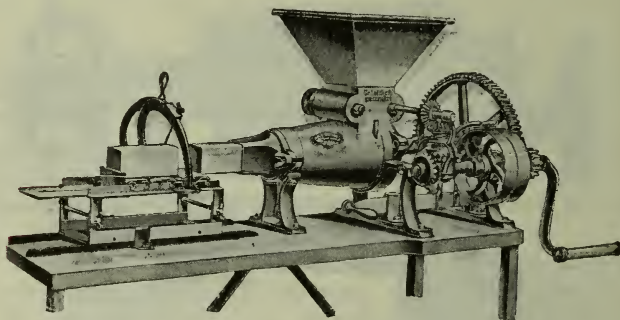


Fig. 41. Hefeform- und Teilmaschine. Konstruktion der Maschinenfabrik C. G. Bohm.

dem sich eine Schnecke bewegt, welche die Hefe vorwärts schiebt und schließlich durch ein Mundstück treibt, das sie zu einem Strange geformt verläßt. Dieser wird in Stücke abgeteilt, die verpackt werden.

Diese Hefeform- und Teilmaschinen (Fig. 41) sind sowohl für Hand- wie auch Riemenbetrieb eingerichtet, Zylinder und Schnecke sind aus Messing gegossen. Die Schneidevorrichtung ist durch Exzenter verstellbar, so daß die Höhe je nach Größe des angesetzten Mundstückes eingestellt werden kann. Sämtliche Schmiervorrichtungen schließen durch ihre Anordnung Verunreinigungen der Hefe aus. Die Maschinen werden mit und ohne Zuführungsvorrichtungen ausgestattet, eine Ausführungs-

art macht jegliches Nachstopfen von Hand entbehrlich, da eine patentamtlich geschützte Vorrichtung die Hefe leicht in die darunter befindliche Schnecke befördert. Durch die geeignete Form der Schnecke und deren Wirkungsweise wird die Hefe in ihrer Qualität tunlichst geschont. Diese Formmaschine wird von der Maschinenfabrik C. G. Bohm, Fredersdorf a. d. Ostb. bei Berlin, gebaut.

B. Das Lüftungsverfahren.

Von dem alten oder Wiener Verfahren unterscheidet sich das Lüftungsverfahren oder die Bereitung der „Lufthefe" vor allem durch zwei wesentliche Momente. Einerseits wird treberfreie, also abgeläuterte Würze vergoren, anderseits wird während der Gärung ein Luftstrom durch die Würze getrieben, wodurch die Ausbeute an Hefe ganz wesentlich vergrößert wird.

1. Die Würze.

Die Rohmaterialien, welche man zur Bereitung der Würze für das Lufthefeverfahren verwendet, sind im allgemeinen die gleichen wie dort, wo nach dem alten Verfahren gearbeitet wird. Doch sind zwei Momente ganz besonders zu berücksichtigen. Einerseits muß der Hefe, die sich bei dem Lüftungsverfahren in reichlicher Menge bildet, stets genügend Nahrung zur Verfügung stehen, und besonders darf, um kräftige Hefe zu erzielen, kein Mangel an leicht aufnehmbaren Stickstoffverbindungen eintreten. Wie wir wissen, sind besonders Peptone und Asparagin ausgezeichnete Hefenahrungsmittel, daher wird bei dem Lüftungsverfahren stets ein sehr großes Malzquantum verarbeitet. Anderseits hängt die Eigenschaft der Würze, sich klar „abläutern" zu-lassen, von der Beschaffenheit der Trebern ab. Im Läuterbottich bilden die Trebern die Filterschicht und diese muß so beschaffen sein, daß sie einerseits der ablaufenden Würze keinen zu großen Widerstand entgegensetzt, anderseits aber klare Würze liefert. Man muß daher die Rohstoffe derart wählen, daß Trebern von der erwähnten Beschaffenheit erhalten werden und muß dementsprechend auch die Vorbereitung des zu verarbeitenden Materials einrichten.

Sehr großes Gewicht ist auf die Erzeugung eines guten, diastasereichen **Malzes** zu legen, wobei auch darauf zu sehen ist, daß das Malz während der Wachstumsperiode so wenig als möglich beschädigt wird und daß sich auch keine Schimmelwucherungen daran zeigen. In großen Spiritus- und Lufthefefabriken hat man daher allgemein die alte Tennenmälzerei

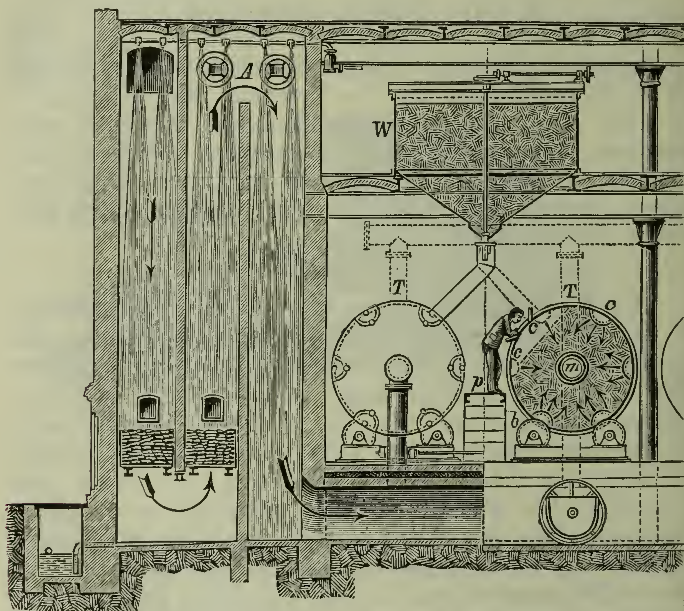


Fig. 42. Pneumatische Mälzerei, System **Galland**. A Querschnitt.

verlassen und ist zur pneumatischen Mälzerei übergegangen, die ein gleichmäßiges und reinliches Arbeiten gestattet.

Wir haben heute hauptsächlich zwei Systeme der **pneumatischen Mälzerei** zu unterscheiden: die **Saladinsche Kastenmälzerei** und das **Gallandsche System**, wobei sich die zu mälzende Gerste in großen, rotierenden Trommeln befindet. Das Prinzip der pneumatischen Mälzerei beruht

darauf, daß durch das zu mälzende Getreide unausgesetzt ein Luftstrom getrieben wird, welcher mit Feuchtigkeit gesättigt ist und konstante Temperatur besitzt. Außerdem ist das zu mälzende Gut unausgesetzt in Bewegung, es wird daher die sich bei

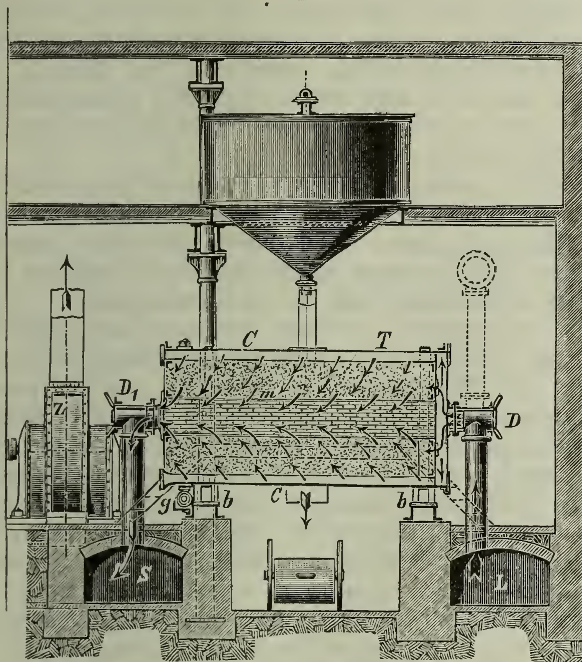


Fig. 42. B Längsschnitt. Beschreibung siehe Text.

der Keimung bildende Kohlensäure rasch abgeleitet, der Feuchtigkeitsgehalt bleibt stets gleich und Überhitzungen einzelner Partien sind bei richtiger Arbeit ausgeschlossen.

Die Einrichtung einer nach dem Galland'schen System arbeitenden Trommelmälzerei zeigt Fig. 42 A und B. Die Luft wird in dem Raume A angefeuchtet und temperiert. Dieser Raum besteht aus mehreren vertikalen Kammern, in denen Düsen

angebracht sind, aus welchen das Wasser unter starkem Druck (4 bis 5 Atmosphären) in Form eines feinen Nebels austritt. Die Luft tritt von oben ein, passiert in der Richtung der Pfeile die auf einem Siebboden ruhende, gleichzeitig als Filter dienende Koksschicht und sättigt sich gleichzeitig mit Wasserdampf. Falls erforderlich, wird das aus den Düsen austretende Wasser vorher angewärmt, dadurch ist es möglich, die Luft nach Erfordernis zu temperieren. Der Raum A steht mit einer zu den Malztrommeln führenden Luftzuleitung L in Verbindung, ebenso mit einer von diesen zu einem Exhaustor Z führenden Luftableitung.

Das Einquellen der Gerste wird zumeist in gewöhnlichen Weichkästen W vorgenommen, die einen konischen Boden besitzen. Von hier gelangt die quellreife und vorher gründlich gewaschene und gereinigte Gerste durch ein drehbares, angehängtes Trichterrohr direkt in die Keimtrommel.

Die Keimtrommeln bestehen aus zwei, aus Eisenblech verfertigten Zylindern. Der äußere Zylinder, welcher die innere Trommel als Mantel umgibt, ist massiv, in dem inneren Zylinder verlaufen seiner ganzen Länge nach halbkreisförmige, mit feinen Löchern versehene Kanäle c. Auch in der Achse des Zylinders liegt ein ebenfalls mit feinen Löchern versehenes Rohr m. Der Raum zwischen beiden Zylindern bildet die Luftkammer. Er steht durch den Regulierschieber D mit der Luftzuleitung L in Verbindung, während das in der Trommelachse liegende Rohr m mit der Luftabsaugeleitung S kommuniziert. Das Rohr m kann mittels des Regulierschiebers D nach Bedarf ganz abgesperrt oder verengt werden. Mit der Luftkammer steht dieses Rohr jedoch nicht in unmittelbarer Verbindung, daher kann die vom Ventilator angesaugte Luft die Trommel nur in der Richtung der Pfeile durchstreichen. Zum Ein- und Ausbringen der Gerste sind an jeder Trommel zwei, einander diametral gegenüberstehende, dicht schließende Türen vorhanden.

Das Wenden der keimenden Gerste geschieht dadurch, daß sich die Trommel in langsamer Umdrehung befindet. Sie ruht auf zwei Paar Rollen b und wird mittels eines Schneckenantriebes in etwa 40 Minuten einmal um ihre Achse gedreht.

Da die Trommel nie ganz gefüllt wird, befindet sich daher auch das Malz darin in unausgesetzter Bewegung. Außerdem ist in der Stirnwand der Trommel eine Vorrichtung vorhanden, welche jene der halbkreisförmigen Rohre c, die sich jeweils oben, also außerhalb der keimenden Gerste befinden, verschließt, so daß durch diese keine Luft austreten kann. Dadurch wird die zuströmende Luft gezwungen, stets nur durch die im Malz liegenden Rohre auszutreten, den Widerstand des Malzes zu überwinden und kann dann erst durch das Mittelrohr abströmen.

Um die Temperatur im Innern der Trommel beobachten zu können, ist an beiden Stirnwandungen je ein Thermometer angebracht. Um die Temperatur zu regulieren, wird der Luftregulierhahn D mehr oder weniger geöffnet. Man kann daher die Temperatur genau innerhalb bestimmter Grenzen halten, wodurch die übermäßige Erwärmung der keimenden Gerste verhütet wird.

Nach Beendigung der Keimung wird der Schieber D ganz geschlossen, so daß keine feuchte Luft in die Trommel gelangt und durch Öffnen eines Deckels im Drehschieber der gewöhnlichen, trockenen Luft den Zutritt gestattet. Dadurch wird das fertige Grünmalz gleich in der Trommel „abgeschwelkt“. Dann wird die Trommel in eine solche Lage gebracht, daß eine Türe nach unten gerichtet ist, diese geöffnet und das Grünmalz in untergefahrene Kippwagen entleert.

Je nach der Größe der Anlage ist der Fassungsraum dieser Trommeln sehr verschieden, sie werden für 25 bis 100 Doppelzentner Gerste gebaut.

Im Vergleiche mit der gewöhnlichen Tennenmälzerei bietet die Trommelmälzerei mannigfache Vorteile. Da in der Trommel das Keimgut weit höher geschichtet ist als auf der Tenne, erfordert es auch nur rund den fünften Teil des Raumes, den es auf der Tenne ausgebreitet beanspruchen würde. Man ist von der Jahreszeit ganz unabhängig und kann das ganze Jahr hindurch tadelloses Malz bereiten, während bei der Tennenmälzerei nur ungefähr 220 bis 230 Arbeitstage gerechnet werden können. Dies wird durch die Möglichkeit, die in die Trommel eingeführte Luft zu tempe-

rieren, erreicht. Ein weiterer Vorteil liegt in der wesentlichen Ersparnis an Arbeitskräften, weil jede anstrengende mechanische Arbeit, besonders das „Widern“ der Haufen, entfällt. Ein Arbeiter ist daher imstande, eine Anzahl solcher Trommeln zu bedienen und zu überwachen.

Auch auf die Beschaffenheit des Malzes macht sich ein günstiger Einfluß geltend. Da nämlich Überhitzungen ausgeschlossen sind und der Keimungsvorgang überhaupt bei niedererer Temperatur verläuft wie auf der Tenne, so findet auch nur ein geringerer Verlust bei der Keimung statt. Ein weiterer, besonders für die Preßhefefabrikation sehr wichtiger Vorteil beruht darin, daß auch Schimmelbildungen durch Verwendung gereinigter Luft ausgeschlossen sind.

Das Malz wird als „Grünmalz“, zum Teil jedoch auch als Darrmalz verwendet. Durch das Darren, das im Erhitzen des Grünmalzes in heißer Luft besteht, wird unter allen Umständen, selbst wenn man das Darren bei nach Möglichkeit niederer Temperatur durchführt, ein Teil der Diastase vernichtet. Gleichzeitig werden aber auch riechende und schmeckende Stoffe gebildet, die auch in der Spiritusbrennerei insofern von Bedeutung sind, als sie dem Trinkbranntwein einen eigentümlichen Geruch und Geschmack verleihen. Man verwendet daher auch meist in der Lufthefefabrikation einen Teil des Malzes als Darrmalz, soll diese Menge jedoch nie zu hoch bemessen, weil mit dem Darren eben stets die diastatische Kraft eine Einbuße erfährt. Die Darrtemperatur soll daher in diesem Falle 50° nicht oder nicht wesentlich überschreiten.

Das Vermengen („Einteigen“) des zur Herstellung der Würze dienenden Materials wird bei einer zwischen 40 und 50° liegenden Temperatur durchgeführt. Innerhalb dieser Temperaturgrenzen hält man die Masse zunächst etwa 20 Minuten, um die Bildung der Diastase zu fördern, dann wird bei relativ hoher Temperatur (64°) während 1½ Stunden verzuckert.

Nach Beendigung des Verzuckerungsprozesses wird die Maische auf 56° abgekühlt und nun gesäuert. Zur Säuerung verwendet man auch im Lufthefeverfahren zweckmäßig Reinkulturen des Milchsäurepilzes (Bacillus Delbrücki), die

Säuerung wird binnen 8 bis 10 Stunden bei einer Temperatur von 48 bis 50° durchgeführt. In dieser Zeit soll sich so viel Säure bilden, daß der Säuregrad 0·7 bis 0·9 beträgt.

Einen kombinierten Maisch- und Säuerungsapparat für Lufthefefabriken baut die Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg, Roßlau a. Elbe (Fig. 43). Er besitzt eine

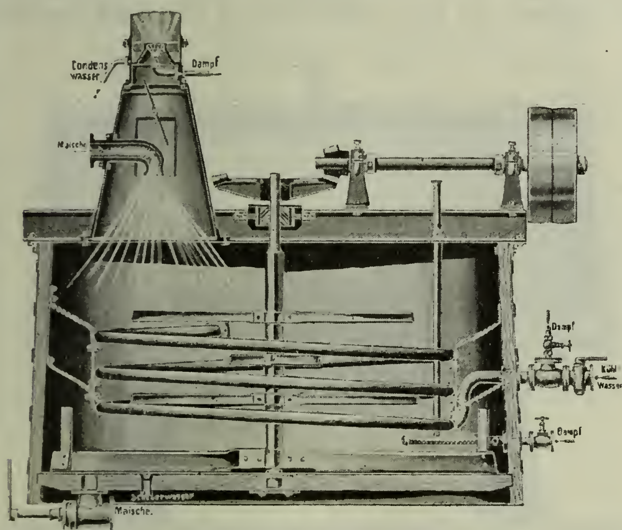


Fig. 43. Horizontal-Maisch- und Säuerungsapparat für Lufthefefabriken. Konstruktion der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg.

Rührvorrichtung, um die Maische innig zu mischen und durchzuarbeiten, um gründliches Aufschließen zu erzielen; alle Eisenteile sind verzinnt. Zur Regelung der Temperatur der Maische dient eine eingehängte, leicht auseinander zu nehmende Kupferrohrschlange, sie wird gleichzeitig auch zum Anwärmen der Maische benutzt. Durch ein oder zwei im unteren Teil des Holzbottichs befindliche gelochte Dampfrohre wird die Maische durch direkten Dampf auf die erforderliche Temperatur erwärmt. Der Bottich wird aus Eichenholz oder Pitchpine-

holz verfertigt und ist mit einem eisernen, in Scharnieren befestigten Deckel versehen.

Zur Tötung des Milchsäurepilzes und zur Sterilisierung wird die Maische dann noch während 1 Stunde auf 75° erhitzt und dann abgeläutert.

Das Abläutern der Würze verfolgt den Zweck, die Trebern abzuscheiden. Man verwendet große, mit Dampf heizbare Behälter, die Maischbottiche, in denen sich ein Rühr-

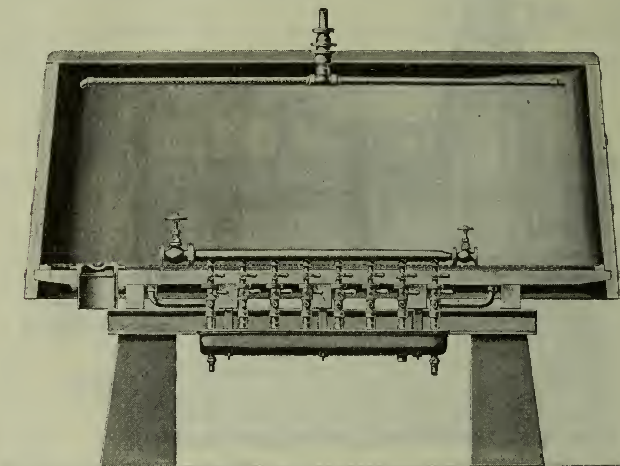


Fig. 44. Läuterbottich für Lufthefefabriken. Konstruktion der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Golzern-Grimma.

werk bewegt. Der Boden dieser Bottiche besteht aus gelochten oder geschlitzten Blechen, die eigentliche filtrierende Schicht bilden aber die Trebern selbst, die sich vor dem Beginn des Abläuterns auf dem Siebboden ablagern müssen.

Ist die Würze klar abgeläutert, so halten die Trebern noch immer eine ansehnliche Menge Würze zurück, die durch das „Anschwänzen" gewonnen wird. Das Anschwänzen besteht darin, daß man die Würze durch Wasser verdrängt, das mittels des Anschwänzapparates zugeführt wird. Diese

Vorrichtung besteht im wesentlichen aus einem Rohre, welches einen feinen Regen, gleichmäßig verteilt, über die Treberschicht ergießt. Das „Nachspülwasser" wird der Würze zugefügt, dadurch wird sie auf etwa 7° Balling verdünnt.

Fig. 44 zeigt einen mit der Läutergarnitur versehenen Läuterbottich, der besonders für die Zwecke der Lufthefefabriken geeignet ist, eine Konstruktion der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Golzern-Grimma. Im Gegensatze zu den in den Brauereien verwendeten Läuterbottichen ist er mit keiner Treberaufhackvorrichtung versehen, der Bottich wird aus Eisen oder aus dichtem, kleinporigem Holze, wie Pitchpine, Lärche oder Eiche verfertigt. Der Läuterboden wird aus Kupfer, Bronze oder Eisen verfertigt, er ist geschlitzt oder gelocht und mit bis zu 80.000 Löchern pro 1 Quadratmeter versehen. An dem Läuterbottich ist der Grant mit den Abzughähnen und Abzugröhren zur Ableitung der Würze angebracht, die trübe Würze wird so lange in den Läuterbottich zurückgebracht, bis sie klar abläuft. Das im oberen Teil des Apparates angebrachte Rohr dient als drehbare Anschwänzvorrichtung, an ihrer Stelle kann auch ein unbeweglicher Spritzkranz angebracht werden. Zum Austrebern dient ein Ausstoßventil im Boden oder eine seitlich angebrachte Tür.

2. Die Gärung und Lüftung der Würze.

Das Anstellen der Würze erfolgt bei einer Temperatur von 30°, unter Verwendung von Preßhefe oder besser einer erprobten Hefe, die durch das Reinzuchtverfahren gewonnen wird. Die Gärung verläuft im allgemeinen ebenso wie bei dem gewöhnlichen Verfahren, nur wird, um das Wachstum der Hefe anzuregen, ein Luftstrom durch die gärende Würze getrieben, dementsprechend müssen die Gärbottiche eine besondere Einrichtung besitzen.

Fig. 45 zeigt einen aus Holz verfertigten Gärbottich für Lufthefefabriken der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg in Roßlau a. Elbe. Sein Durchmesser ist gleich oder etwas größer als die innere Höhe. Der Luftverteiler besteht aus einem Metallstern mit abnehmbaren, gelochten Kupfer-

rohren, sowie einem kupfernen Standrohre. Die Kühlschlange wird aus blanken, gezogenen Kupferrohren ausgeführt.

Fig. 46 zeigt einen eisernen Gärbottich der gleichen Firma. Sie werden aus starken, schmiedeeisernen Blechen sowohl rund wie auch viereckig verfertigt. Die viereckige Form

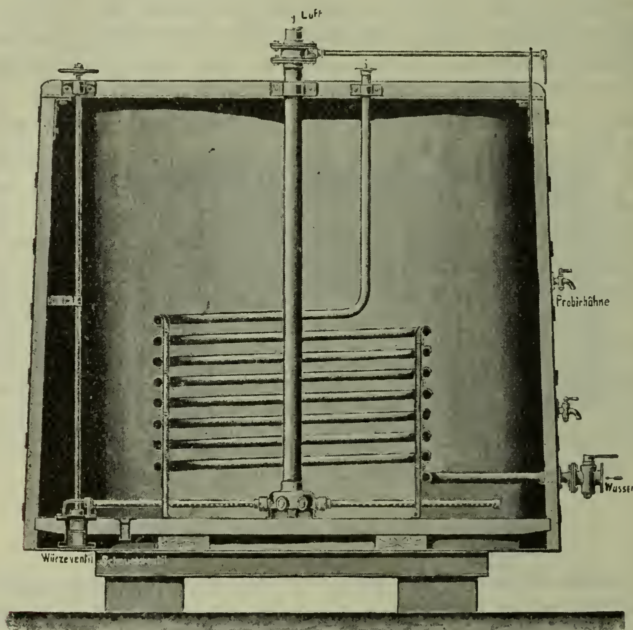


Fig. 45. Hölzerner Gärbottich für Lufthefefabriken. Konstruktion der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg.

gestattet eine weit bessere Ausnutzung des Raumes, die Höhe wird so niedrig als möglich gehalten, damit die eingeblasene Luft keinen zu bedeutenden Widerstand zu überwinden hat. Der Luftverteiler ist kammförmig angeordnet und leicht auseinanderzunehmen, die Kühlschlange ist ebenfalls aus mehreren Teilen zusammengesetzt und kann leicht gereinigt werden.

Die Form der Gärbottiche ist sehr verschieden, ebenso ihre Einrichtung. Um das Abschöpfen der Hefe zu erleichtern, verdient die rechteckige Form unbedingt den Vorzug vor runden oder ovalen Gefäßen. Am Boden des Gärgefäßes liegen Rohre, die mit zahlreichen feinen Öffnungen versehen sind, sie dienen zum Einblasen der Luft.

Würde man die Luft vor der Verwendung nicht weiter reinigen, so würde sie natürlich eine gefährliche Infektionsquelle bilden, weil sie beladen mit Mikroorganismen aller Art in die Würze gelangen würde. Deshalb wendet man

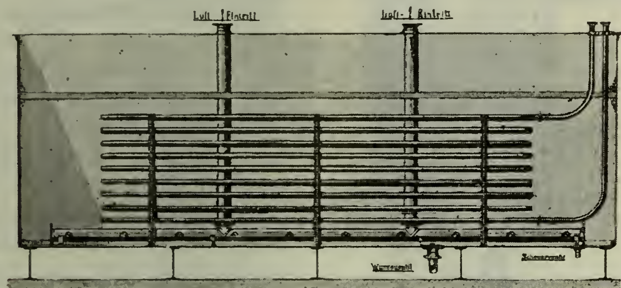


Fig. 46. Eiserner Gärbottich für Lufthefefabriken. Konstruktion der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg.

hier — ähnlich wie bei der Trommelmälzerei — Wasch- und Filtervorrichtungen an, welche auch ähnlich eingerichtet sind, wie dort.

Ein Luftkühl- und Waschapparat für Lufthefefabriken der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Golzern-Grimma ist in Fig. 47 abgebildet. Der Apparat besteht aus einem genügend großen eisernen Kessel mit Siebböden und aller Sicherheitsarmatur, Wasserstand und Armatur für Wasser und Dampfzutritt, in welchem die vom Kompressor oder Gebläse kommende Luft gekühlt und gewaschen wird, indem sie in innige Berührung mit entgegenfließendem Wasser gebracht wird. Ein danebengestelltes kleineres Gefäß ist bestimmt, das der Luft beigemengte Wasser abzuscheiden, in besonderen Fällen dient

es auch dazu, die Luft mit Säuredämpfen, z. B. schwefliger Säure, zu mischen.

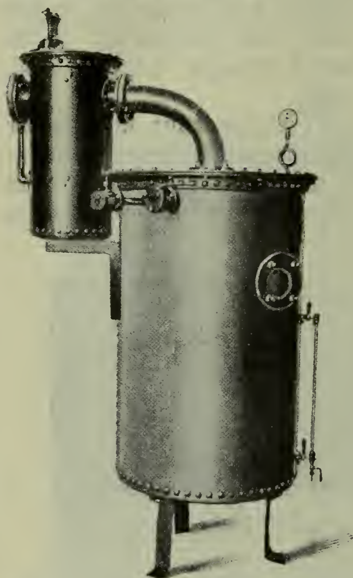


Fig. 47. Luftkühl- und Waschapparat für Lufthefefabriken. Konstruktion der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Golzern-Grimma.

Das Durchleiten der Luft in starkem Strome währt 6 bis 8 Stunden, nach dieser Zeit ist die Würze bis auf etwa 2° Balling vergoren. Man mäßigt nun den Luftstrom und läßt die Gärung bei gleichzeitiger Kühlung bis auf etwa 1° Balling fortschreiten. Wenn die Hefe „reif" ist, wird mit der Gewinnung begonnen, der Zeitpunkt der Reife wird im allgemeinen nach den gleichen Grundsätzen beurteilt, wie auf S. 331 beschrieben. Ein weiteres Erkennungszeichen besteht darin, daß sich die Hefe in einer aus dem Gärgefäße geschöpften Würzeprobe klar absetzt. So lange sich noch Schaum bildet, dies ist ein Anzeichen, daß die Hefe noch nicht genügend ausgereift ist, selbst dann, wenn sich keine Kohlensäure mehr entwickelt.

3. Die Gewinnung der Hefe.

Die Gewinnung der Hefe aus der Würze geschieht entweder durch Absetzenlassen in großen Absatzgefäßen oder mit Hilfe der Zentrifuge. In den Absatzgefäßen wird die Hefe gewaschen und, wenn sie sich klar zu Boden gesetzt hat, was nach 6 bis 8 Stunden der Fall zu sein pflegt, wie bei dem alten Wiener Verfahren beschrieben, weiter verarbeitet. Oder sie wird in Zentrifugen ausgeschleudert, wobei die Arbeit weit

rascher und glatter vonstatten geht und die Absatzgefäße ganz erspart werden.

Fig. 48 zeigt einen solchen Hefeseparator, Konstruktion der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg zu Roßlau a. Elbe. Durch die Fliehkraft wird in diesen Separatoren Würze und Hefe sehr rasch und vollständig getrennt und dadurch viel an Zeit, wie auch an Platz gespart. Für die Hefe

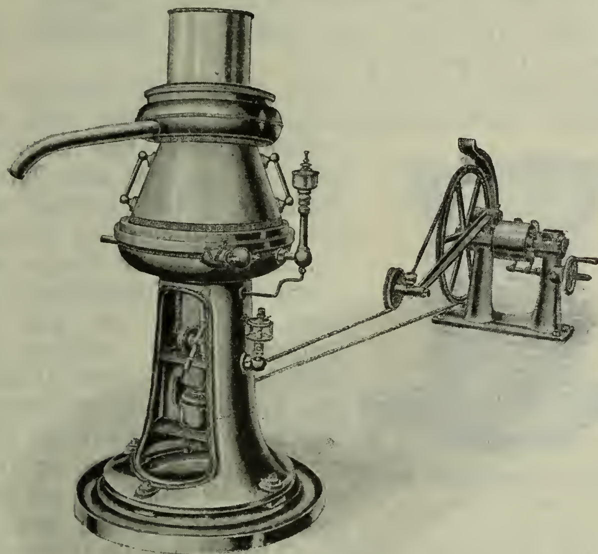


Fig. 48. Hefeseparator mit Schnurvorgelege. Konstruktion der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg.

ist es von Vorteil, wenn sie rasch von der Würze gesondert wird, außerdem wird man von der Beschaffenheit der Hefe unabhängig, weil auch Hefen, die sich im Absatzschiffe nur langsam absetzen würden, rasch separiert werden.

Diese Separatoren werden entweder von einem Vorgelege

mit Schnurübersetzung angetrieben oder sie werden direkt von einer Dampfturbine bewegt, deren Achse die Trommel der Zentrifuge trägt. Die Dampfturbine ist dann im Gestelle des Separators eingebaut.

Die zentrifugierte Hefe, welche gleichzeitig stark gekühlt wird, wird dann gewaschen, um schließlich in der Filterpresse entwässert und endlich zerteilt und verpackt zu werden.

Einen Rieselkühler zum raschen und gründlichen Abkühlen der Hefe zeigt Fig. 49.

Die vergorene Würze wird abdestilliert, allerdings ist der Alkohol meist aldehydhaltig. Die Ausbeuten nach dem Lufthefeverfahren sind wesentlich höher als nach dem alten Wiener Verfahren. Man gewinnt nach dem alten Verfahren im allgemeinen nur 14 bis 16 Prozent des angewendeten Rohmateriales in Form von Hefe und zirka 30 Prozent Spiritus, während das Lufthefeverfahren 19 bis 21 Prozent Hefe und 24 bis 26 Prozent Spiritus liefert. Allerdings kann durch Gärung bei niedereren Temperaturen die Ausbeute an Hefe noch vermehrt werden, doch ist dann ihre Triebkraft geringer und damit auch ihr Gebrauchswert. Die Bestimmung der Triebkraft, überhaupt die Untersuchung der Hefe wird im letzten Abschnitte besprochen werden.

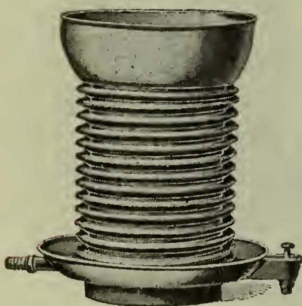


Fig. 49. Hefekühler für separierte Hefe.

Bei der Anlage von Spiritus- und Preßhefefabriken kommt es ebensosehr auf zweckmäßige Ausnutzung des verfügbaren Raumes, wie auf Übersichtlichkeit des Betriebes und praktische Anordnung der Apparate ꝛc. an. Die Abbildungen Fig. 50, A bis D auf Tafel I veranschaulichen die Einrichtung einer modernen Preßhefefabrik nach dem Lüftungsverfahren für 4 × 2500 Kilogramm Einmaischung, ausgeführt von der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg zu Roßlau a. Elbe.

Wie aus den Abbildungen hervorgeht, sind im obersten Geschosse die Getreideweiche, die Henzedämpfer, Malzquetschen

Fig. 50.

A

Längsschnitt A-B.

B

Grundriß Erdgeschoß.

Fig. 50. Preßhefefabrik nach dem Würze-Lüftungsverfahren von 4 $\times$ 2500
A Längsschnitt. B Grundriß des Erdgesc

C

Fig. 50.

Grundriß 1. Stockwerk.

Kühl- schacht

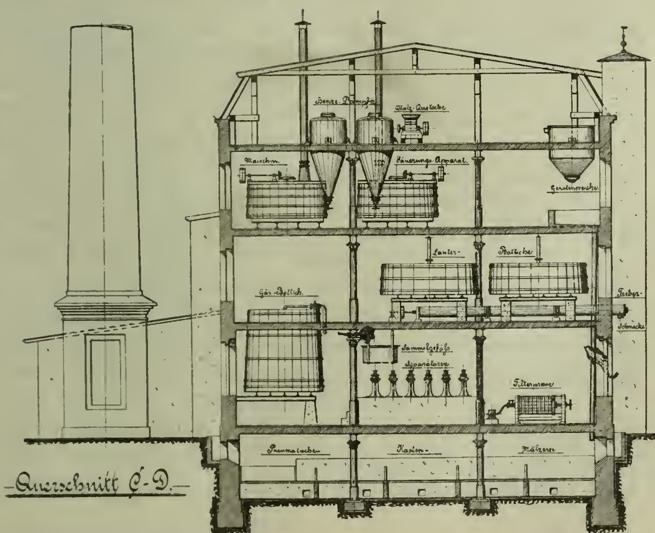
Transmission

Rectificir-Automat

Treppenhaus

Fassstube

D



inmaischung. Ausgeführt von der Aktiengesellschaft Gebrüder Sachsenberg.
ndriß des 1. Stockwerkes. D Querschnitt.

und Wasserreservoirs aufgestellt. Darunter stehen die Maisch- und Säuerungsapparate und unter diesen die Läuterbottiche. Von hier gelangt die klare Würze nach den Gärbottichen, die vergorene Würze samt der Hefe nach einem Sammelgefäße und wird von hier aus den Hefeseparatoren zugeführt, die gekühlte Hefe wird in Filterpressen entwässert. In einem gesonderten Raume wird die abgepreßte Hefe gepfundet und verpackt. Im Kellergeschosse befindet sich die pneumatische Mälzerei, System Saladin. In einem von der eigentlichen Hefefabrik gesonderten Raume sind die Betriebsmaschine, der Luftkompressor, Rektifizierautomat rc. untergebracht.

Die Anlage ist mithin höchst zweckmäßig und übersichtlich, die Bereitung der Maische erfolgt an der höchsten Stelle des Gebäudes, worauf sie alle Stationen nach abwärts durchwandert.

4. Betriebsfehler in Lufthefefabriken.

Von guter Preßhefe verlangt man vor allem, daß sie eine genügende Triebkraft besitzt, haltbar ist und neben weißer Farbe auch einen frischen, angenehmen Geruch besitzt. Im allgemeinen kann gelten, daß sich gute Ware durch helle Farbe, muscheligen Bruch, saure Reaktion, eine gewisse Elastizität, starke Triebkraft und verhältnismäßig große Haltbarkeit auszeichnet. Wird sie mit Wasser geschüttelt, so verteilt sie sich gleichmäßig in der Flüssigkeit und setzt sich bei ruhigem Stehen nur langsam zu Boden.

Hefe, die diesen Anforderungen nicht oder nur teilweise entspricht und die besonders nur geringe Haltbarkeit aufweist, wird zumeist nur dann erhalten, wenn die Arbeitsweise zu wünschen übrig läßt. Meist liegen die Ursachen des Verderbens schon im Grünmalz, das nicht sachgemäß bereitet wird, wobei sich besonders in den warmen Sommermonaten Betriebstörungen ergeben. Hauptbedingung ist natürlich auch, daß eine zur Malzbereitung geeignete Gerste zur Verfügung steht, die genügende Keimfähigkeit besitzt.

Ein weiterer Fehler liegt — außer der nicht entsprechenden Bereitung des Grünmalzes — oft darin, daß die Gärbottiche nur mangelhaft gereinigt werden. Sie sollen nach jeder Ent-

leerung mit heißer Sodalösung gründlich gereinigt und dann mit heißem Wasser nachgespült werden, außerdem ist es nötig, sie vor jeder Beschickung längere Zeit auszudämpfen.

Auch der Säuerung der Maische ist die vollste Aufmerksamkeit zuzuwenden. Die Verhältnisse liegen ja bei der Lufthefefabrikation ebenso wie bei der Spiritusbrennerei und hier wie dort bildet die in der Maische vorhandene freie Milchsäure einen wirksamen Schutz gegen Spaltpilzinfektionen. Wird jedoch der Säuerung nicht genügende Aufmerksamkeit geschenkt, wird zu wenig Säure gebildet oder die Säuerung schlecht geleitet, so daß sich außer dem Milchsäurepilz noch andere Mikroorganismen ansiedeln, so wird dadurch der Erfolg oft in Frage gestellt. Selbstverständlich kommt es auch sehr darauf an, eine dem Nährmaterial angepaßte Rasse des Milchsäurebazillus zu verwenden, daher ist es unter allen Umständen empfehlenswert, auch in den Lufthefefabriken den Bacillus Delbrücki heranzuziehen.

In den meisten Lufthefefabriken wird zwar heute mit Hilfe der Zentrifugen die Trennung von Hefe und vergorenen Würze durchgeführt, und dies bietet schon eine gewisse Garantie, daß hieraus keine nachteilige Veränderung der Hefe resultieren wird. Anders ist es dagegen dort, wo noch mit Absatzgefäßen gearbeitet wird. Dort ist vor allem darauf zu sehen, daß die Temperatur in den Absatzgefäßen nicht zu hoch steigt, besonders ehe die Hefe genügend gewaschen und von der anhängenden Würze befreit ist. Aber auch später ist die Hefe stets kühl zu halten.

Wenn das Lufthefeverfahren überhaupt mit einem Übelstande behaftet ist, so ist es der, daß hier Infektionen noch leichter stattfinden können, wie sonst. Dazu gibt schon die Behandlung der Würze mit Luft Anlaß, sofern die Luft nicht genügend gereinigt eintritt. Dies kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn die Filteranlage nicht richtig funktioniert. Überhaupt ist hier größte Reinlichkeit — genau so, wie in allen anderen Gärungsgewerben — stets am Platze, die sich aber nicht bloß auf bestimmte Orte erstrecken darf, sondern den ganzen Betrieb gleichmäßig umfassen muß.

C. Verarbeitung von Melasse.

Zur Gewinnung von Preßhefe nach dem Lufthefeverfahren kann an Stelle der Würze auch Melasse verwendet werden, doch ist dann auf die besondere Eigenart dieses Stoffes Rücksicht zu nehmen, soll die Hefe den an sie zu stellenden Anforderungen hinsichtlich der Haltbarkeit und des Geruches entsprechen. Auch ist zu beachten, daß der Stickstoff der Melasse nicht von der Hefe aufgenommen und verarbeitet werden kann, man muß daher die Melassemaische mit aufnehmbaren stickstoffhaltigen Verbindungen, wie Malzkeime, Hefeextrakt ꝛc. versetzen. Auch der Gehalt an Phosphaten ist zumeist nicht genügend, er wird durch Zugabe von löslichen Verbindungen der Phosphorsäure, wie Natriumphosphat, oder phosphorsaurem Ammon reguliert.

Da die Melasse in dem Zustande, wie sie von den Zuckerfabriken geliefert wird, meist alkalisch reagiert, muß sie zunächst neutralisiert werden. Man benutzt hierzu Schwefelsäure, worauf die auf 6 bis 10° Balling verdünnte Melasse noch nach dem Milchsäureverfahren bis auf 0·3° gesäuert wird. Um rasch eine lebhafte Milchsäuregärung hervorzurufen, wird meist der Bazillus vorgezüchtet und dann erst der durch Aufkochen sterilisierten Maische zugesetzt, die dann bei 50° der Säuerung überlassen bleibt.

Zur Vergärung wird gewöhnlich Preßhefe verwendet, die man entweder direkt verwendet oder zunächst in einem Teil der mit Malzkeimen versetzten Maische heranzüchtet, um sogleich eine kräftige Gärung zu erhalten.

Die aus Melassemaischen gewonnene Hefe muß sehr gründlich gewaschen werden, weil sie sonst leicht verdirbt und einen unangenehmen Geruch nach Melasse annimmt. Die Ausbeuten sind denen des Lüftungsverfahrens unter Verwendung anderer Rohmaterialien ähnlich.

D. Der Stärkezusatz zur Preßhefe.

In früheren Jahren war fast allgemein die Anschauung verbreitet, daß gute Preßhefe nur unter gleichzeitiger Bei-

mengung von Kartoffelstärke bereitet werden könne. Man gab die Stärke in den Absatzgefäßen zu, vermengte sie durch mehr oder minder gründliches Mischen mit der Hefe, worauf diese gepfundet wurde. Durch den Stärkezusatz sollte einerseits die Haltbarkeit erhöht, anderseits die Formung erleichtert werden.

Im Preise kam der Stärkezusatz, der innerhalb ziemlich großer Grenzen schwankte, meist nicht zum Ausdruck und der Käufer war genötigt, die viel billiger zu liefernde Stärke ebenso zu bezahlen wie die Hefe selbst, obwohl mit dem Zusatz von Stärke eine Verringerung des Gebrauchswertes verbunden ist.

Schon der Internationale Kongreß für angewandte Chemie zu Berlin hat im Jahre 1903 eine sich mit dem Stärkezusatze zur Hefe befassende Resolution angenommen, welche — nach Dafert und Kornauth in der Abhandlung „Experimentelle Beiträge zur Lösung der Frage nach der zweckmäßigsten gesetzlichen Regelung des Verkehres mit Hefe" — folgendermaßen lautet:

„Nachdem Stärkemehl weder zur Fabrikation der Preßhefe notwendig ist noch sonst irgend einen Wert in bezug auf Arbeitsleistung derselben oder deren Konservierung hat, dagegen aber ein allgemeines Interesse dafür vorliegt, daß die Hefe rein dargestellt wird und auch rein in Verwendung kommt, ohne Zusatz einer Substanz, welche heute nur noch den Zweck hat, entweder die Hefe an sich billiger zu machen oder überhaupt zu fälschen; nachdem ferner die Preßhefeindustrie, vor allem aber die Konsumenten im Kleinen durch das Mischen der Hefe mit Stärke getäuscht und geschädigt werden und daher gerechten Anspruch auf Schutz erheben können; nachdem endlich die bestehenden Nahrungsmittelgesetze auf den Artikel „Hefe" entweder nicht angewendet werden oder nicht anwendbar sind, sobald die Hefe als „gemischte Hefe" deklariert wird, erscheint es dem Kongreß zweckdienlich, ein direktes Verbot des Stärkemehlzusatzes zur Preßhefe herbeizuführen und in diesem Sinne bei den Regierungen vorstellig zu werden."

Mit der Preßhefe, deren Herstellung wir eben besprochen

haben und die ihrer Natur nach eine Oberhefe ist, tritt auf unseren Märkten seit längerer Zeit eine andere, und zwar eine Unterhefe in einen gewissen Wettbewerb, die nach ihrer Herkunft als Bierhefe bezeichnet wird. Sie ist ein Nebenprodukt von der Bierbereitung, bei der man sie in relativ großen Mengen als Bodensatz erhält. Durch wiederholtes Waschen mit Wasser und Behandlung in Filterpressen gelingt es, diesen Bodensatz, selbst ohne Hinzufügung anderer Stoffe, in eine formbare Masse zu verwandeln, die sich jedoch im allgemeinen durch ihre äußeren Eigenschaften: rötliche Färbung, schmierige Konsistenz, alkalische Reaktion, bierartigen Geruch, schwache Triebkraft und geringe Haltbarkeit, endlich auch durch ihr Verhalten in Wasser (sie zeigt beim Aufschlämmen eine flockige Struktur und setzt sich sehr rasch völlig zu Boden) von Preßhefe leicht unterscheiden läßt. Da die gewöhnliche Bierhefe im unvermischten Zustande schon wegen ihres Aussehens, des eigentümlichen Geruches und einer gewissen Neigung zum Verderben nicht gute Preßhefe ersetzen kann, wird sie, wenigstens zum Teil, mit Preßhefe oder mit Stärke, oder mit beiden zusammen vermengt an die Konsumenten abgegeben, namentlich wenn sie in großer Entfernung von der Produktionsstätte wohnen. Neben diesem rein technischen Umstande, von dem die Preßhefefabrikanten behaupten, daß er nur ein Vorwand sei, spielen wirtschaftliche Momente bei der Vermischung der verschiedenen Hefesorten untereinander und mit Stärke die wichtigste Rolle, weshalb die einschlägigen Produktions- und Konsumverhältnisse näher erörtert werden müssen.

Die Produktionskosten bei Preßhefe betragen derzeit, so weit Dafert und Kornauth (1908) feststellen konnten, 1·25 Kronen pro 1 Kilogramm, der Verkaufspreis in Wien schwankt zwischen 1·30 bis 1·50 Kronen. Bei der Bierhefe ist, weil sie ein unvermeidliches Abfallprodukt der Brauerei darstellt, eine exakte Berechnung der Herstellungskosten kaum möglich; Kenner schätzen sie auf etwa 0·35 Kronen pro 1 Kilogramm, während sich ihr — nomineller — Handelswert ungefähr um 0·44 Kronen herum bewegt. Die zum Vermischen von Hefe benutzten Stärkesorten notieren augen-

blicklich: Kartoffelstärke I[a] 27 Kronen, II[a] 25 Kronen pro 100 Kilogramm. Das nahezu ausschließliche Konsumgebiet für die Preßhefe ist die Bäckerei. Die Gesamtproduktion an Preßhefe soll pro Jahr in Österreich-Ungarn 16,000.000 Kilogramm, in Deutschland 37,000.000 Kilogramm betragen, jene an Bierhefe war nicht zu ermitteln. Stärke werden zirka 300 Waggons verbraucht, wovon $^2/_3$ aus Ungarn und $^1/_3$ aus Österreich stammen.

Die oben mitgeteilten Zahlen lehren, daß die Bierhefe weit billiger als die Preßhefe und die Stärke wiederum billiger als die Bierhefe ist, was ohne weiteres die in den letzten Jahrzehnten zutage getretene Neigung der Handelskreise erklärt, Mischungen vorzunehmen und sie als mehr oder weniger vollwertige Surrogate für unvermischte Preßhefe auf den Markt zu bringen. Daß ein solches Vorgehen auf den Widerstand der in ihrem Absatz bedrohten Preßhefefabriken stoßen mußte, war klar. Die Selbsthilfe erwies sich als unzureichend und es entspann sich ein hartnäckiger Kampf, dessen Hauptgegenstand schließlich die Frage bildete, ob und wie der Verkehr mit Preßhefe und Bierhefe von Staats wegen geregelt werden solle und könne?

Bei einer vom k. k. Handelsministerium einberufenen, am 17. Juni 1903 in Wien abgehaltenen Enquete, an welcher die Vertreter der kompetenten Ministerien und sämtlicher Interessentenverbände teilnahmen, traten neben der offenbaren Sprödigkeit der ganzen Materie die Gegensätze in den herrschenden Anschauungen klar zutage.

Der Standpunkt der Preßhefefabrikanten läßt sich dahin zusammenfassen, daß sie die Mischung der Preßhefe sowohl mit Bierhefe, als auch mit Bierhefe und Stärke perhorreszieren und daher verboten sehen wollen. Sie begründeten diesen Wunsch bei der Enquete wie folgt:

„Eine Gesundung des Handels mit Hefe könne nur dann herbeigeführt werden, wenn als Preßhefe für Backzwecke keine andere, als wirklich geeignete Hefe verkauft werden dürfe. Bis heute sei es erlaubt, Gemische von Preßhefe mit Bierhefe oder Bierhefe und Stärke, ebenfalls als Preßhefe

zu verkaufen. Dieser Umstand führt zu einer argen Verwirrung hinsichtlich des Begriffes und zu ganz falschen Vorstellungen über den Gebrauchswert und folgerichtig auch über den für gute Ware geforderten Preis. Dadurch würden gewinnsüchtige Händler, und mit Rücksicht auf die empfindliche Konkurrenz, welche dieselben machen, auch viele Fabrikanten gezwungen, solche Gemische herzustellen und sie als billige Hefe zu verkaufen. Ein Deklarationszwang hätte, abgesehen von den technischen Schwierigkeiten seiner Durchführung, deshalb keinen Wert, weil er kaum so wirksam gestaltet werden könnte, daß auch der Detailkäufer jedesmal genau erfährt, was man ihm verkauft hat."

Einen prinzipiellen Unterschied zwischen den einzelnen Preßhefearten zu machen, halten die Fabrikanten nicht für angebracht, weil die fortschreitende Technik immer neue Materalien, Mais, Melasse, Kartoffel und was noch kommen mag, in die Hefefabrikation einführt, und ein wesentlicher Qualitätsunterschied zwischen den Produkten aus den verschiedenen Rohmaterialien nicht festzustellen ist.

Sie berufen sich u. a. auf das Gutachten eines hervorragenden deutschen Fachmannes, Dr. H. Lange, der sagt*):

„Auch aus gärungstechnischen Gründen liegt es im allgemeinen Interesse des Hefegewerbes, ein Hefemischverbot mit allen zu Gebote stehenden Mitteln anzustreben. Die früher für die Notwendigkeit der Beimischung von Kartoffelmehl geltend gemachten Gründe technischer Art bestehen heute nicht mehr. Wenn früher dem Zusatz von Stärkemehl als Bindemittel, um die Hefe trocken zu bekommen und besser pfunden zu können, eine gewisse Berechtigung nicht abzusprechen war, so ist diese Manipulation bei den heutigen verbesserten Arbeitsmethoden und Betriebseinrichtungen nicht mehr zu rechtfertigen. Jeder Fabrikant sei heute in der Lage, auch ohne einen Stärkemehlzusatz eine gute, brauchbare Hefe herzustellen und in gutem, haltbarem Zustande auf weite Strecken zu versenden. Dem Stärkemehl komme nicht, wie

*) „Gutachten in Sachen des Hefemischverbotes." Brennerei-Zeitung 1904, S. 205.

man vielfach annimmt, eine konservierende Wirkung zu. Ist die Hefe an sich gesund und mit der erforderlichen Sorgfalt und Sachkenntnis gezüchtet und behandelt, so sei sie auch haltbar und versandfähig ohne Stärkezusatz. Häufig werde sogar der Stärkezusatz erst die Ursache zum Weichwerden und zum Verderben der Hefe."

Von den in Berlin untersuchten und begutachteten Stärkeproben „müssen stets eine große Anzahl als zum Mischen der Hefe ungeeignet zurückgewiesen werden. In den letzten Jahren beliefen sich die beanständeten Proben auf 50 bis 60 Prozent (!!) der zur Untersuchung eingesandten".

„Eine Hefe geringerer Qualität durch Vermischen mit Stärkemehl verbessern zu wollen, sei Selbsttäuschung. Wenn es auch vielleicht gelingt, eine mangelhafte Hefe durch Kartoffelmehlzusatz für den Augenblick konsistenter und in ihrem äußeren Aussehen für Auge und Griff entsprechender zu gestalten, so bleibt eine solche Hefe für ihre praktische Verwendung doch minderwertig und ihr Verkauf wird stets Klagen von seiten der Kundschaft im Gefolge haben. Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Hefe sei der Stärkezusatz ein völlig wertloser, und somit ein den Wert der eigentlichen Ware vermindernder Balast, dessen Beseitigung notwendig ist, um das Hefegeschäft auf eine reellere Basis zu stellen und zur Gesundung zu führen."

Nicht beabsichtigt wird, nach Erklärung der Preßhefefabrikanten, durch das Mischverbot die Verwendung von Bierhefe zum Backen zu verbieten, denn, „obwohl allgemein feststeht, daß die letztere für sich allein keine geeignete Bäckerhefe ist — es fehlt ihr der sogenannte Ofentrieb — könne sie in einzelnen Fällen, sei es für sich allein oder gemischt mit Preßhefe, wohl Verwendung finden. Nur solle sie nicht unter einer Bezeichnung, die ihr nicht zukommt, feilgehalten und zu einem ihrem wahren Wert nicht entsprechenden Preise verkauft werden können".

Mit diesen Ausführungen deckt sich oben mitgeteilte, vom Internationalen Kongreß für angewandte Chemie zu Berlin im Jahre 1903 angenommene Resolution.

Auch auf dem Internationalen landwirtschaftlichen

Kongreß in Wien 1907 wurde diese Frage durch Dr. Stumpf eingehend erörtert. Der Kongreß schloß sich der vom Vortragenden vorgeschlagenen Resolution an:

„Der VIII. Internationale landwirtschaftliche Kongreß erkennt den Beschluß des V. Internationalen Kongresses für angewandte Chemie an und ersucht die Regierungen, ein Mischverbot für Preßhefe nicht allein in bezug auf Stärkemehl, sondern auch auf Bierhefe zu erlassen."

Demgegenüber nahmen die Bierhefeinteressenten bei den Verhandlungen folgende Stellung ein: „Die Bierhefe ist ein billiges Ersatzmittel für die teure Preßhefe und wenn sie vom Markte verschwinde, wäre das mit der Schaffung einer Monopolstellung zugunsten der Preßhefeerzeuger gleichbedeutend. Die Folge eines solchen Schrittes könnte nur eine rapide Steigerung des Preises der Preßhefe sein. Die Stärke brauchten sie zur Konservierung der Bierhefe, auch läge es nicht im Interesse der Landwirtschaft, den Stärkezusatz zu verbieten, weil heute mehr als 500 Waggons Kartoffelstärke für diesen Zweck Verwendung finden. Gegen den Deklarationszwang hätten sie nichts einzuwenden, wenn derselbe auch auf die minderwertige Luft-, Mais- und Melassehefe ausgedehnt werde."

Nicht völlig übereinstimmend war die Stellung der Bäcker hinsichtlich eines Zusatzes von Bierhefe. Ein Vertreter sprach zugunsten des Mischverbotes, die beiden übrigen erklärten den Deklarationszwang für ausreichend; ein Stärkezusatz wurde von dieser Seite einstimmig verpönt.

Bei der Enquete zeigte sich ferner, daß über das Verhalten der neuen Preßhefesorten, die schon wiederholt genannten Luft-, Mais- und Melassehefe, in analytischer Hinsicht völlige Klarheit noch nicht herrscht und daß insbesondere die Frage, ob man diese Hefen stets mit Sicherheit von Bierhefen zu unterscheiden vermöge, offen steht.

Die Auffassung der Regierung geht aus den Ausführungen ihrer Vertreter bei derselben Gelegenheit hervor: „Auf die vorliegende Frage könne nur das Lebensmittelgesetz Anwendung finden, das zwei Zwecke verfolge, die Sanitätspolizei und die Hintanhaltung von Täuschungen im

Lebensmittelverkehr. Zur Erreichung dieses Zieles gebe das Gesetz der Regierung nur zwei Vollmachten an die Hand, die des § 6 (Schutz der Gesundheit), welche die Erlassung von Verboten gestattet, und die des § 7 (Täuschung im Lebensmittelverkehr), auf Grund welcher der Deklarationszwang eingeführt, d. h. verordnet werden könnte, daß die in den Verkehr gelangende Hefe wahrheitsgetreu ihrer Qualität nach bezeichnet werden müsse".

„Bisher stand nur die Frage der Regelung des Verkehres mit „Preßhefe", Bierhefe und Mischhefe zur Diskussion, wobei unter „Preßhefe" die nach dem „Wiener" Verfahren bereitete Hefe verstanden wurde. Nach einem seinerzeit von Prof. Dr. Gruber erstatteten Gutachten vom 23. Juli 1902 komme aber weder bei einem Zusatz von Bierhefe noch bei einem solchen von Stärke irgendeine Art von Gesundheitsschädlichkeit in Betracht; die Erlassung eines Mischverbotes würde somit nicht zu begründen sein. Was dagegen einzuführen wäre, ist der strenge Deklarationszwang, damit der Käufer vor jeder Täuschung hinsichtlich der Qualität der von ihm gekauften Preßhefe geschützt wird. Mit Rücksicht auf die Ausübung einer wirksamen Kontrolle müsse wegen der Unmöglichkeit des quantitativen Nachweises in Mischungen mit Preßhefe bei der Bierhefe auf die Angabe des Mischungsverhältnisses ausdrücklich verzichtet werden. Angesichts des plötzlichen Auftauchens der neuen Hefesorten, der Luft-, Mais- und Melassehefe, für welche die Preßhefefabrikanten eine identische Behandlung, wie für die nach dem Wiener Verfahren hergestellte Preßhefe, die Bierhefeinteressenten dagegen eine besondere Stellung verlangen, dann wegen der immer wiederkehrenden Behauptung der Bierhefeinteressenten, die Stärke wirke in praxi entgegen den von den Preßhefeabnehmern aufgestellten und von Prof. Dr. Gruber als richtig erkannten Behauptungen, konservierend, sei jedoch eine neuerliche, experimentelle Überprüfung des ganzen Fragenkomplexes erwünscht und eine Beschlußfassung oder auch nur endgiltige Stellungnahme vorläufig untunlich", eine Anschauung, der die Versammlung beistimmte.

Mit der Vornahme der Prüfung wurden Dafert und Kornauth betraut. Die wichtigste Vorarbeit war die Sichtung des vorhandenen Materiales und die Präzisierung der zu bearbeitenden Fragen.

Umfangreiche Versuche, welche Dafert, Kornauth und Köck zur Beantwortung der Spezialaufgaben: Feststellung des Wertes der verschiedenen Hefen für den praktischen Bäckereibetrieb und ihrer Haltbarkeit, Ermittlung der konservierenden Wirkung eines Stärkezusatzes, Entscheidung der Frage, nach welchen Grundsätzen der Verkehr mit Preßhefe zu regeln ist und Untersuchungen über die Möglichkeit, die in Vorschlag gebrachte Regelung analytisch zu kontrollieren, durchgeführt haben, lassen sich folgendermaßen beantworten:

1. Man kann Bierhefe in Preß-Luft- und Melassehefe qualitativ mit einer für die Praxis genügenden Sicherheit nachweisen, und zwar nach der Methode Bau*) und besser noch nach jener von Lindner. Sollten wider Erwarten einmal begründete Zweifel in die Richtigkeit eines Befundes auftauchen, so würde, ähnlich wie dies bei der Beurteilung der Milch durch die Stallprobe geschieht, eine Erhebung am Fabrikationsorte, eine Fabriksprobe, vorzunehmen sein. Eine sichere quantitative Bestimmung der Bierhefe mit den genannten Oberhefen ist dagegen derzeit nicht möglich.

2. Das von der Bierhefe Gesagte gilt auch von der Stärke, wenn man die Bedürfnisse der praktischen Kontrolle ins Auge faßt. Die quantitative Bestimmung der Stärke in Mischhefen kann auf analytischem Wege gewiß genau vorgenommen werden. Bei der unvermeidlichen Anwendung von Schnellmethoden jedoch, z. B. jener nach Filsinger-Kusserow, mittels Amylometers usw., müßte in Hinblick auf die dargelegten Verhältnisse eine recht bedeutende Latitüde (mindestens 5 Prozent) gewährt werden.

Daraus folgt, daß sich, ganz abgesehen von der sanitären und wirtschaftlichen Seite der Angelegenheit, im gegenwärtigen Augenblicke der quantitative Deklarationszwang für Bierfefe überhaupt nicht und jener für Stärke nur mangel-

*) Die Besprechung der hier nach ihren Autoren benannten Verfahren zur Untersuchung der Hefe folgt im letzten Abschnitte.

haft durchführen läßt, also vom administrativen Standpunkte nicht in Betracht kommt.

Auf Grund dieser Ausführungen und Versuche empfehlen Dafert und Kornauth als zweckmäßigste Lösung des seit so langer Zeit strittigen Preßhefeproblems die Erlassung eines Verbotes der Mischung von Preßhefe sowohl mit Bierhefe als mit Stärke, und von Bierhefe mit Stärke. Zu begründen ist diese Maßnahme mit den Bestimmungen des § 6 des Gesetzes vom 16. Januar 1896, R. G. Bl. Nr. 89 ex 1897, weil schon ein 25prozentiger Zusatz

a) von Bierhefe zu Preßhefe, und der ihr gleichzustellenden Melasse-, Mais- und Lufthefe, nicht nur die Haltbarkeit der Preßhefe selbst, sondern unter Umständen auch jene des mit ihrer Hilfe bereiteten Gebäcks herabsetzt, und ein solcher

b) von, namentlich größeren Mengen Stärke zu Hefe jeder Art geeignet ist, eine eventuelle sanitätswidrige Beschaffenheit der Hefe zu verdecken.

Selbstverständlich wäre vorzuschreiben, daß Bierhefe nur unter dieser Bezeichnung verkauft werden darf; die letztere hat überall vor der Fabriksmarke zu stehen und die Fabriksmarke ist niemals ohne die Qualitätsbezeichnung zu gebrauchen.

Wirtschaftlich werden durch die vorgeschlagene Maßregel allerdings zwei Industriezweige einigermaßen betroffen, die Brauerei und die Stärkefabrikation. Was die Brauerei betrifft, dürfte der Ausfall indessen nur vorübergehend sein. Denn es liegt kein Grund vor, den Verkauf reiner guter Bierhefe als solche zu verbieten. Letztere wird man in Zukunft dort, wo sie mit Vorteil Verwendung findet, so wie bisher verwenden können, nur mit dem Unterschiede, daß sie nicht mehr unter fremder Flagge segelt. Dieser Umstand dürfte, nach Erfahrungen auf anderen Gebieten, zu Verbesserungen bei der Zubereitung für den Verkauf führen, die, vielleicht eher als man heute glaubt, ihr Absatzgebiet sogar erweitern werden. Für den Ausfall an Stärkeverbrauch läßt sich kein so hoffnungsvolles Prognostikon stellen; aber wiegt

nicht die zu gewärtigende Sanierung des ganzen Hefegeschäftes, das sich heute in einem Zustande geradezu unhaltbarer Unsolidität befindet, vom Standpunkte des Gemeinwohles den Minderverbrauch von ein paar 100 Waggons Kartoffelstärke in Österreich auf? Wir glauben diese Frage entschieden bejahen zu sollen.

VII. Abschnitt.

Hefe und Gärung in der Bierbrauerei.

Bier ist ein aus Gerstenmalz und Wasser unter Verwendung von Hopfen und Hefe bereitetes, alkohol- und kohlensäurehaltiges Getränk. Die Verwendung anderer Stoffe zur Bierbereitung ist in den meisten Staaten untersagt. Neben Alkohol und Kohlensäure enthält das Bier aber auch noch andere gelöste Stoffe, welche aus dem Rohmaterial, der Gerste und dem Hopfen stammen und den Charakter des Bieres bestimmen. Daraus ergibt sich schon ein wesentlicher Gegensatz zwischen Bierbrauerei und Spiritusfabrikation. Der Zweck der Spiritusfabrikation ist vor allem, eine nach Möglichkeit große Menge Alkohol aus den Rohstoffen zu gewinnen, daher ist das Streben des Brenners darauf gerichtet, die Würze so weit als möglich zu vergären. Anders der Brauer. Er muß den Gärungsvorgang so leiten, daß die Gärung langsam verläuft und daß im fertigen Biere stets noch gärungsfähige und außerdem solche Stoffe vorhanden sind, die dem Biere den Wohlgeschmack und die „Vollmundigkeit" verleihen.

Diese besonderen Eigenschaften des Bieres werden durch eine Reihe von Maßnahmen bedingt. Sie liegen einerseits in der Malzbereitung und der Darstellung der Würze, sowie im Kochen derselben mit Hopfen, anderseits in der Durchführung der Gärung. Indem hier die Gärung im allgemeinen bei weit niedereren Temperaturen verläuft als in der Brennerei und auch andere Heferassen als Gärungserreger verwendet werden, sind die Vorgänge während der Gärung auch andere

wie dort und dementsprechend nehmen sie auch auf den Charakter des Bieres weitgehenden Einfluß.

Die Bierbrauerei zerfällt im allgemeinen in folgende Vorgänge:

1. Malzbereitung. Sie umfaßt die Reinigung, das Weichen und das Keimen der Gerste zum Zwecke der Diastasebildung und das Darren des Grünmalzes.

2. Darstellung der Würze. Das geschrotene Darrmalz wird gemaischt, die Würze von den Trebern getrennt und mit Hopfen gekocht. Dann wird die Würze auf die Anstelltemperatur gekühlt und es folgt

3. die Gärung. Sie umfaßt das Anstellen der Würze mit Hefe, die im Gärkeller sich abspielende Hauptgärung und die im Lagerkeller folgende, meist bei sehr niederer Temperatur während längerer Zeit verlaufende Nachgärung, bis das Bier fertig und zum Ausstoße reif ist.

Je nach dem Verlaufe der Gärung unterscheiden wir die bei niederer Temperatur vergorenen „untergärigen“ und die bei höherer Temperatur hergestellten „obergärigen“ Biere. Abgesehen von gewissen Biersorten, die aber mehr als Spezialitäten anzusehen sind, wird die Hauptmenge des Bieres durch Untergärung gewonnen. Wie wir wissen, sind bei der Unter- und Obergärung verschiedene Heferassen beteiligt.

Die Entwicklung der Bierbrauerei zu ihrer gegenwärtigen Höhe, besonders die Ausbildung des wichtigsten Teiles, der Gärung, haben wir vor allem den Arbeiten Hansens zu verdanken. Indem er den von Pasteur eingeschlagenen Weg weiter verfolgte und ihn selbständig ausbaute, gelang es ihm, nicht nur die Ursachen vieler Fehler und Krankheitserscheinungen des Bieres zu erforschen, die durch unreine Hefen und Spaltpilzgärungen verursacht werden, sondern wir verdanken ihm auch die Mittel und Wege, sie zu vermeiden. Dies war erst durch eingehendes Studium der Hefearten, durch Auflösung der in den Brauereien verwendeten Hefengemische in Rassen und endlich durch Reinzucht geeigneter Rassen, ausgehend von einer einzigen Zelle, möglich. Auch auf dem Gebiete der Bierbrauerei ergab sich dann ein „System der natürlichen Reinzucht“, welches darauf hinausläuft, die Hefe stets unter solchen

Verhältnissen zu halten und zu verwenden, welche ihrer Entwicklung und Tätigkeit nach Möglichkeit günstig, der Entwicklung anderer Mikroorganismen nach Möglichkeit ungünstig sind. Delbrück hat dies auch in seiner Anwendung auf die Bierbrauerei in seiner Schrift „System der natürlichen Reinzucht", Berlin 1903, ausführlich besprochen.

1. Malz und Würze.

In der Brauerei wird ausschließlich Darrmalz verwendet, das aus dem Grünmalz durch Erhitzen („Darren") hergestellt wird. Von der Beschaffenheit des Malzes und der Durchführung des Darrens hängt vor allem der Charakter des Bieres ab, daher ist auch, je nach der Biersorte, die Malzbereitung verschieden. Eine zur Malzerzeugung, beziehungsweise Bierbereitung taugliche Gerste soll einen nach Möglichkeit hohen Stärkegehalt besitzen, weil davon die Extraktausbeute abhängt. Selbstverständlich darf auch die Keimkraft nicht gelitten haben. Die Keimfähigkeit guter Braugerste soll nicht unter 96 Prozent liegen, ferner soll sie gleichmäßig keimen, bei Zimmertemperatur sollen nach 48 Stunden mindestens 80 Prozent und nach 72 Stunden alle überhaupt keimfähigen Körner ausgekeimt haben. Neben der Forderung nach einem hohen Stärkegalt ist jedoch auch der Gehalt der Braugerste an Eiweißstoffen wesentlich. Man verlangt zumeist gegenwärtig, daß der Gehalt guter Braugerste an stickstoffhaltiger Substanz, gefunden durch Multiplikation des Stickstoffgehaltes mit 6·25, 10 Prozent nicht übersteigt.

Doch auch die allgemeine Beschaffenheit des Kornes wird bei Beurteilung einer Braugerste berücksichtigt. Man verlangt Feinschaligkeit, ferner meist eine helle, gelblichweiße Farbe, auch dürfen die Spitzen der Körner nicht braun sein. Wird eine Anzahl Körner der Quere nach mit einem scharfen Messer durchschnitten, so soll die Schnittfläche nicht glasig, sondern mehlig sein. Wenn auch dieser Erscheinung vielleicht oft mehr Bedeutung zugemessen wird als ihr gebührt, so ist doch darauf Rücksicht zu nehmen. Denn wirklich glasige Gerste setzt der Aufschließung und Lösung des Stärkemehles größeren Widerstand entgegen als mehlige.

Die mittlere Zusammensetzung guter Braugerste mögen folgende Zahlen veranschaulichen:

	Prozent
Wasser	14·0
Protein	9·0
Fett	2·5
Stärke	68·5
Sonstige stickstofffreie Bestandteile	3·5
Asche	2·5
	100·0

In manchen Gegenden wird außer der Gerste, jedoch nur ausnahmsweise oder zur Herstellung besonderer Biersorten, auch Weizen, Hafer, Mais ꝛc. zur Bierfabrikation verwendet. Doch sind die Mengen Diastase, die sich durch den Mälzvorgang in diesen Getreidearten bilden, wesentlich geringer als in der Gerste. Die Gerste liefert unter allen Umständen das diastasereichste und daher auch wertvollste Malz, welches die höchsten Extraktausbeuten gibt.

Die Malzbereitung zerfällt in das Weichen, Keimen und Darren der Gerste. Der wesentlichste Vorgang, der sich während der Keimung abspielt, ist, wie wir wissen, die Erzeugung von Diastase. Doch ist dem Brauer nicht einzig und allein an der Erzeugung dieses Enzymes gelegen, sondern er will durch die Malzbereitung auch weitere Veränderungen in der Beschaffenheit des Kornes hervorrufen, wie die Spaltung der Eiweißkörper, die Bildung löslicher Kohlehydrate und endlich die Auflösung der Zellwandungen. Besonders dieser Vorgang ist ungemein wichtig, er wird als „Auflösung" bezeichnet und bildet ein wesentliches Kennzeichen für den richtigen Verlauf der Keimung überhaupt. Ist die „Auflösung" gut, so kann daraus geschlossen werden, daß das Malz auch sonst gute Eigenschaften besitzen und sich gut verarbeiten lassen wird. Als Zeichen für gute Auflösung gilt es, wenn sich der Mehlkörper des Gerstenkornes leicht zwischen den Fingern zu einer mehligen Masse zerreiben läßt. Die Auflösung kann aber auch zu weit gehen, zu stark aufgelöstes Malz läßt sich zwar gut und leicht

verarbeiten, liefert aber ein leerschmeckendes, kohlensäurearmes Bier.

Durch das Weichen der Gerste soll sie einerseits die zur Keimung nötigen Wassermengen aufnehmen — sie muß „quellen“ — anderseits ist damit auch eine Reinigung und Abscheidung tauber Körner verbunden. Die Gerste darf jedoch auch nicht zu lange geweicht werden, weil „überweichte“ Gerste nur langsam und unregelmäßig keimt.

Die Dauer des Weichens hängt ebensosehr von der Beschaffenheit der Gerste, wie von der Temperatur des Wassers ab. Im allgemeinen kann gelten, daß mit steigender Temperatur des Wassers die Weichdauer abnimmt. Allerdings darf das Weichwasser auch nicht zu warm sein, weil sonst leicht Zersetzungsvorgänge eintreten. Die Weichdauer schwankt innerhalb ziemlich weiter Grenzen, als mittlere Dauer können etwa 60 bis 72 Stunden angesehen werden.

Wie erwähnt, übt die Weichdauer aber auch einen Einfluß auf die Beschaffenheit des Malzes selbst aus. Will man sehr diastasereiches Malz mit kräftig entwickelten Blatt- und Wurzelkeimen erzielen, so ist eine sehr lange Weichdauer erforderlich. Aus solchem Grünmalz läßt sich dann auch sehr aromatisches Darrmalz erzeugen. In den bayrischen Brauereien, welche solches Malz bevorzugen, beträgt daher die Weichdauer je nach der Beschaffenheit der Gerste und der Temperatur des Wassers selbst bis zu 120 Stunden. Malz, aus dem lichte Biere dargestellt werden sollen, benötigt dagegen einer kürzeren Weichdauer, weil hier die Keimung auch nicht so weit fortschreiten gelassen wird. Dann bildet sich allerdings auch weniger Diastase, doch wird solches Malz auch bei niedererer Temperatur abgedarrt, wobei dann weniger Diastase zerstört wird.

Mit dem Einquellen der Gerste ist auch eine gründliche Reinigung verbunden. Sie wird gewaschen, zumeist in der Weise, daß man in die Quellstöcke Luft einbläst, wodurch die Gerste bewegt und die Körner sanft aneinander gerieben werden. Durch das Waschen wird nicht nur der an der Gerste haftende Staub und Schmutz entfernt, sondern auch die Sporen von Schimmelpilzen, die stets, besonders reichlich aber in nassen

Jahren auf der Gerste vorhanden sind. Um sie noch gründlicher zu beseitigen, kann man zum Waschen der Gerste auch desinfizierende Mittel, besonders Kalkmilch, verwenden, wodurch der Zweck nicht nur weit vollkommener erreicht, sondern nach Windisch überhaupt die Beschaffenheit der Gerste, besonders ihr Geruch, wesentlich verbessert wird.

Aus dem Quellstocke gelangt die Gerste auf die Tenne, wo sie keimt, oder in die „pneumatische Mälzerei“, deren Einrichtung schon auf S. 340 besprochen worden ist. So ausgezeichnete Dienste auch die pneumatische Mälzerei in der Spiritusfabrikation zu leisten vermag, so sind doch die Anschauungen über ihre Bedeutung für die Zwecke des Brauers in den Kreisen der Praktiker geteilt. Denn für den Brauer ist das Malz nicht nur ein Mittel zum Zweck, sondern der eigentliche Rohstoff, von dessen Beschaffenheit eben nicht nur die Ausbeute, sondern auch der Charakter des Bieres bestimmt wird, worauf es aus leicht begreiflichen Gründen ganz besonders ankommt. Wenn daher auch die Vorteile, die für die pneumatische Mälzerei auf S. 343 angeführt wurden, unbedingt zugegeben werden, so wird doch darauf hingewiesen, daß nach diesem Verfahren ein der Gerstensorte angepaßtes „individuelles Mälzen“ ausgeschlossen oder doch wesentlich erschwert wird. Viele Brauereien ziehen daher immer noch die Arbeit auf der Tenne vor, die es allerdings gestattet, die Eigenschaften der Gerste so weit als nur irgend möglich zu berücksichtigen.

Wir können hier nicht auf die Einzelheiten der Arbeit auf der Malztenne eingehen, es sei daher nur im allgemeinen der Vorgang und das Wesen geschildert und im übrigen auf die großen Spezialwerke, besonders auf Thausings bekanntes Werk „Die Theorie und Praxis der Malzbereitung und Bierfabrikation“ verwiesen. Auf der Malztenne wird die geweichte Gerste in flachen Haufen (Beeten) ausgebreitet und hier einer systematischen Bearbeitung durch das „Wenden“ oder „Widern“ unterworfen. Man erzielt dadurch die Regelung der Temperatur in den Haufen, wovon der Verlauf des Keimungsvorganges abhängt, und hat es auch in der Hand, je nach Bedarf die Entwicklung des Wurzel- und Blattkeimes

zu beeinflussen. Als kurz gewachsenes Malz wird ein solches bezeichnet, bei dem die Wurzelkeime die gleiche Länge wie das Korn erreichten, während sie bei lang gewachsenem Malz anderthalbmal bis doppelt so lang sind. Der Blattkeim erreicht während der hierzu erforderlichen Zeit $^2/_3$ bis $^3/_4$ der Kornlänge, und zwar weisen bei lang gewachsenem Malz etwa 90 Prozent, bei kurz gewachsenem nur 70 bis 80 Prozent der Körner diese Länge des Blattkeimes auf. Wenn es sich um Herstellung heller Biere handelt, so gibt man im allgemeinen kurz gewachsenem, für dunkle Biere lang gewachsenem Malz den Vorzug. Auch ist es Tatsache, daß lang gewachsenes Malz durch das Darren ein weit besseres und kräftigeres Aroma erhält als kurz gewachsenes, eine Erscheinung, die auf den höheren Diastasegehalt des länger auf der Tenne geführten Malzes zurückzuführen ist.

Die Entwicklung des Wurzelkeimes wird außer vom Weichgrade und der Temperatur auch durch die Häufigkeit des Wendens bestimmt. Die Würzelchen bleiben um so kürzer, je öfters die Gerste gewidert wird. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß durch häufiges Wenden der Temperaturerhöhung im Haufen vorgebeugt wird. Erfolgt das Widern weniger oft, so wird mitunter eine Temperatur bis zu 25° in den Haufen erreicht. Dann entwickeln sich die Wurzelkeime ungehindert, sie greifen ineinander und das Malz verfilzt sich stark. Im allgemeinen ist jedoch die Einhaltung niedererer Temperaturen für die Beschaffenheit des Malzes, wie es der Brauer benötigt, zweckmäßiger, als Durchschnittstemperatur sind etwa 18 bis 19° anzusehen. Der Keimungsvorgang auf der Tenne währt je nach der Temperatur 7 bis 10 Tage. Wird, wie zumeist üblich, bei mäßiger Temperatur gearbeitet, so sind gewöhnlich 9 bis 10 Tage erforderlich.

Die gekeimte Gerste — das „Grünmalz“ — soll einen angenehmen, frischen Geruch besitzen, dumpfiger Geruch deutet auf Zersetzungsvorgänge und Schimmelbildungen hin. Die Länge des Blattkeimes beträgt dann ungefähr $^2/_3$ bis die volle Kornlänge, auch muß es eine gute „Auflösung“, die sich bis in die Spitze des Kornes erstreckt, zeigen. Würde man den Keimungsvorgang nun noch andauern lassen, so wäre dies

mit einer Verminderung des Diastasegehaltes verknüpft, gleichzeitig würden auch bedeutende Verluste an Extraktivstoffen durch Veratmung entstehen. Das Fortschreiten des Keimungsvorganges muß daher rechtzeitig unterbrochen werden, was durch Wasserentziehung geschieht. Dies wird durch das „Schwelken“ erreicht, wobei man das Grünmalz in dünner Schicht ausbreitet und für gute Ventilation sorgt.

Durch das Darren des Grünmalzes wird ein mehrfacher Zweck erreicht. Zunächst wird während des Darrens, das in einer Erhitzung bis auf 100° und darüber besteht, das Malz entwässert und dadurch haltbar. Gleichzeitig werden die Wurzelkeime brüchig und können dann durch Putzen des Malzes leicht entfernt werden. Es gehen während des Darrens aber auch chemische Veränderungen im Malz vor sich, die mit dem Auftreten des Malzaromas verbunden sind. Davon hängt vor allem der Charakter des Bieres ab. Da nun die Ausbildung des Malzaromas und überhaupt die Veränderungen, welche das Malz auf der Tenne erleidet, von der Höhe der Darrtemperatur abhängen, ist es klar, daß das Darren, je nach der herzustellenden Biersorte, verschieden sein wird.

Für sehr helle Biere, wie sie z. B. in Böhmen und Wien bereitet werden, geht man auf der Darre nicht über eine zwischen 62 und 93° liegende Temperatur (im Malz gemessen) hinaus; für dunkles Bier nach bayrischer Art darrt man zwischen 75 und 90° ab. Wesentlich ist natürlich eine gleichmäßige Behandlung des Malzes auf der Darre, derart, daß nicht einzelne Partien überhitzt, andere dagegen wieder nur wenig erwärmt werden. Besonders durch Anwendung mechanischer Malzwender, die das auf der Darrhürde liegende Malz fortwährend umschaufeln, kann das Darren sehr gleichmäßig durchgeführt werden.

Ist das Darren beendet, so erhöht man in vielen Mälzereien die Temperatur noch auf 100° durch kurze Zeit, dies hat den Zweck, die größtmögliche Menge aromatischer Stoffe zu bilden. Durch das Darren wird die diastasische Kraft des Malzes unter allen Umständen vermindert, die Schädigung ist jedoch um so geringer, je trockener das Malz ist. Man

beginnt daher bei niederer Temperatur abzudarren und steigert sie erst nach und nach. Zur Erzeugung ganz dunkler Biere wird sogenanntes **Farbmalz** benutzt, das durch Rösten des Malzes in eigenen Röstvorrichtungen erzeugt wird. Von solchem Farbmalz werden immer nur verhältnismäßig geringe Mengen benötigt, weil seine Färbekraft sehr bedeutend ist.

Richtig bereitetes Malz zeigt folgende Eigenschaften:

Es muß seiner ganzen Masse nach durchaus gleichartig sein und auf Wasser schwimmen.

Die einzelnen Körner müssen groß, gerundet, leicht zu zerbeißen und leicht zu zerreiben sein. Kleine, verschrumpfte, harte und schwere Körner deuten auf das Vorhandensein von Glasmalz.

Die Farbe der Körner im Innern, auch bei stärker gedarrtem Malze, muß hell, gelblichweiß sein.

Gutes Malz muß einen angenehmen, aromatischen Geruch besitzen, der um so stärker hervortritt, je stärker das Malz abgedarrt wurde, auch muß es rein süß schmecken.

Nach dem Darren wird das Malz nochmals gereinigt und gleichzeitig entkeimt, wozu besondere Maschinen dienen. Ehe es weiter verarbeitet wird, läßt man es mindestens 6 bis 8 Wochen lagern. Die Veränderungen, welche die Gerste durch das Keimen und Darren erleidet, gehen aus der folgenden Zusammenstellung hervor:

	Gerste	Luftmalz	Darrmalz
Proteinstoffe, lösliche .	1·26	2·13	1·98
" unlösliche	10·94	9·80	9·77
Dextrin	6·50	7·56	8·23
Extraktivstoffe	0·89	4·00	—
Stärkemehl	54·28	51·55	4·65
Fett	3·55	2·92	3·38
Zellulose	19·86	19·67	18·81
Asche	2·42	2·29	2·29

Der **Maischprozeß** bezweckt, unter Ausnutzung der diastasischen Kraft des Malzes die löslichen Stoffe in Lösung zu bringen. Zu diesem Zwecke wird das Malz zerkleinert, mit Wasser vermengt („eingeteigt") und dann auf höhere

Temperatur, bis zu 75°, erwärmt. Das Gemenge von Malz und Wasser heißt Maische, die nach vollendetem Maischprozesse von den Trebern befreite Flüssigkeit Würze. Die klare Würze wird dann noch mit Hopfen gekocht und dann zur Gärung angestellt.

Zur Gewinnung der Würze, die in das Maischen und das Abläutern zerfällt, dienen verschiedene Verfahren, je nachdem man das Erhitzen auf die Maischtemperatur vornimmt. Man unterscheidet das Koch- oder Dekoktionsverfahren und das Aufguß- oder Infusionsverfahren.

Das Wesen des Dekoktionsverfahrens besteht darin, daß nur ein Teil der Maische gekocht und dieser dem nicht gekochten Teile zugesetzt wird, wodurch man die Temperatur der ganzen Maische steigert und endlich die Abmaischtemperatur von 75° erreicht. Es ist klar, daß hierdurch stets ein Teil der Diastase zerstört wird, und zwar in jenem Teil der Flüssigkeit, die auf höhere Temperatur erhitzt wird.

Bei dem Infusionsverfahren wird in der Weise gearbeitet, daß man die kalte Maische durch Einleiten von Dampf oder durch Zugießen von heißem Wasser nach und nach auf die Maischtemperatur erhöht (aufwärtsmaischende Infusion) oder indem man gleich mit heißem Wasser beginnt und in dieses das Malzschrot einbringt, die Temperatur des Wassers muß dabei so gewählt sein, daß das Gemenge die richtige Temperatur zeigt (abwärtsmaischende Infusion). Hauptsächlich wird in Deutschland und Österreich zur Erzeugung untergäriger Biere nach dem Dekoktionsverfahren gearbeitet.

Die Vorgänge, welche sich beim Maischprozesse abspielen, wurden schon wiederholt erörtert. Es sei daher nochmals nur kurz erwähnt, daß aus der Stärke durch Einwirkung der Diastase Zucker (Maltose) und Dextrine gebildet werden, ferner geht ein Teil der Eiweißkörper in Lösung und endlich nimmt die Würze auch den angenehmen aromatischen und charakteristischen Geruch und Geschmack des Malzes an. Je nach der Arbeitsweise beim Maischen hat man es in der Hand, die Menge des entstehenden Zuckers und dadurch auch den Charakter des Bieres weitgehend zu beeinflussen.

Ferner hängt von der Arbeitsweise und dem Verhältnisse

zwischen Malz und Wasser die Konzentration der Würzen ab, die je nach der darzustellenden Biersorte verschieden ist. Es zeigen die Würzen von

	Grad Balling
leichten Abzugbieren	9—10
Schank-(Winter-)Bieren . . .	12—13
Lager-(Sommer-)Bieren . . .	13—14·5
Bock-Salvator-Doppelbieren . .	15—20

Die Menge der Maltose beträgt 50 bis 60 Prozent, die des Dextrins 15 bis 25 Prozent, außerdem sind noch 2 bis 4 Prozent Rohrzucker und 7 bis 9 Prozent Dextrose und Lävulose, ferner stickstoffhaltige Körper und Mineralstoffe in der Würze vorhanden.

Die Trennung von Würze und Trebern wird Abläutern genannt. In kleineren Brauereien wird der Maischbottich gleichzeitig auch zum Abläutern verwendet, in größeren benutzt man dagegen besondere Läuterbottiche, deren Einrichtung ebenfalls schon auf S. 346 kurz beschrieben wurde. Man läßt die Maische zunächst zur Ruhe kommen, wobei sich die Trebern auf dem gelochten Boden des Läuterbottichs ablagern und beginnt dann mit dem Abläutern. Die anfangs trübe fließende Würze wird wieder in den Läuterbottich zurückgebracht, läuft die Würze klar, so wird sie nach der Hopfenpfanne befördert. Die in der Treberschicht zurückbleibende Würze wird durch das Anschwänzen gewonnen, das mit heißem Wasser (75°) erfolgt. Das Anschwänzen muß rasch durchgeführt werden, weil sich die Trebern sonst abkühlen und dann die Gefahr der Milchsäurebildung eintritt. Die „Nachgußwürzen" werden zumeist mit der „Vorderwürze" vereinigt.

Das Kochen der Würze mit Hopfen bezweckt einerseits eine weitere Konzentration der durch die Nachgüsse verdünnten Würze und gleichzeitig die Abscheidung koagulierbarer Eiweißkörper, anderseits aber auch die Lösung gewisser Bestandteile des Hopfens. Natürlich ist mit dem Kochen auch eine Sterilisation der Würze verbunden.

Die Dauer des Würzekochens, sowie die Menge des

Hopfenzusatzes richten sich sowohl nach dem Maischverfahren, wie nach der zu erzeugenden Biersorte. Als mittlere Kochdauer der nach dem Dekoktionsverfahren gewonnenen Würzen kann $1^1/_2$ bis 2 Stunden angenommen werden. Nach dem Kochen soll sich das koagulierte Eiweiß in dichten Flöckchen absetzen und die Würze muß klar und glänzend „blank" sein.

Der Hopfen beeinflußt nicht nur den Charakter des Bieres, sondern es werden auch Stoffe aus dem Hopfen gelöst, welche die Haltbarkeit des Bieres bedingen. Auf den Geschmack und den Geruch des Bieres wirken vor allem das Hopfenöl und die Hopfenharze, die Haltbarkeit wird besonders durch die Hopfenharze erhöht. Denn in der gehopften Würze vermögen sich zahlreiche Spaltpilze nicht zu entwickeln, die auf der nicht gehopften Würze einen vorzüglichen Nährboden finden. Ein großer Teil des Hopfenharzes wird während der Gärung ausgeschieden. Die Menge des Hopfenzusatzes richtet sich — abgesehen von der Qualität des Hopfens — nach dem Charakter des Bieres und beträgt pro Hektoliter Würze zwischen 0·25 und 0·55 Kilogramm. Im allgemeinen werden verwendet zu

	Kilogramm Hopfen
Böhmischen Bieren	0·3—0·55
Wiener Bieren	0·2—0·5
Münchener Bieren	0·2—0·3

Der ausgekochte Hopfen wird im Würzeseiher zurückbehalten, die nun fertige Würze wird dann auf die Anstelltemperatur abgekühlt.

2. Das Kühlen der Würze.

Während des Maischprozesses, der im allgemeinen bei hohen Temperaturen durchgeführt wird, ist die Infektionsgefahr nicht groß, und dies um so weniger, als die Würze dann noch mit dem Hopfen aufgekocht wird, wobei sie gleichzeitig eine gründliche Sterilisierung erfährt. Dagegen kann das Kühlen der Würze auf die Anstelltemperatur große Gefahren mit sich bringen, wenn es nicht rasch und sachgemäß durchgeführt wird. Die Anstelltemperatur beträgt für Untergärung 5 bis 6, für die Obergärung 12 bis 20°.

Auch bei der Kühlung der Bierwürze ist im allgemeinen auf die gleichen Gesichtspunkte Rücksicht zu nehmen, die bei Besprechung der Abkühlung der Maischen in der Brennerei erörtert wurden. Es handelt sich auch hier darum, jene Temperaturen, bei denen besonders leicht Infektionen eintreten, zu überwinden. Allerdings ist die Gefahr hier geringer, weil die Würze unmittelbar vor dem Kühlen gekocht wurde, doch muß sie so rasch als möglich gekühlt werden, damit eben die kritischen Temperaturen so rasch als möglich überwunden werden.

Das Kühlen der Würze geschieht gewöhnlich auf dem Kühlschiffe, einem großen, flachen Gefäße aus Kupfer oder Eisenblech, in das die Würze geleitet und das Kühlschiff ist an einem, dem Luftzuge leicht zugänglichen Orte aufgestellt, um durch den Luftwechsel die Abkühlung zu befördern. Im Kühlschiffe lagert sich das Kühlgeläger ab, hauptsächlich aus Eiweißflocken, Hopfenresten usf. bestehend, außerdem setzt sich an seinen Wänden der „Bierstein“ ab, der hauptsächlich aus organischen Stoffen, die jedoch bis zu 30 Prozent anorganische Beimengungen enthalten, besteht. In eisernen Kühlschiffen ist diese Ablagerung erwünscht, weil sie die unmittelbare Berührung zwischen Würze und Kühlschiff verhindert, wodurch sonst leicht unliebsame dunkle Färbungen des Bieres resultieren. In kupfernen Kühlschiffen kann der Bierstein leicht entfernt werden.

Auf dem Kühlschiffe bleibt die Würze stets längere Zeit, bis zu 8 Stunden liegen. Es ist klar, daß hier im höchsten Grade die Möglichkeit von Infektionen besteht, besonders wenn die über das Kühlschiff streichende Luft reich an Staub und damit gleichzeitig auch an Mikroorganismen ist. Hansen hat zuerst in seinen Arbeiten auf die Gefahr hingewiesen, die durch das Kühlen der Würze auf dem Kühlschiffe erwächst, aber auch schon Pasteur hat Andeutungen nach dieser Richtung gegeben.

Jedenfalls ist die Gefahr einer Infektion auf dem Kühlschiffe sehr groß, doch darf nicht übersehen werden, daß die gehopfte Würze für viele Mikroorganismen einen sehr schlechten, ja einen für ihre Entwicklung direkt untauglichen

Nährboden bildet. Dafür spricht auch die praktische Erfahrung, indem das Kühlschiff seit alters her in den Brauereien im Gebrauche steht, und auch heute noch mit gleich gutem Erfolge verwendet wird. Es geht daraus hervor, daß die Gefahr keineswegs so groß ist, wie mitunter geglaubt wird, immerhin ist die Verwendung künstlicher Kühlung schon aus dem Grunde empfehlenswert, weil in der wärmeren Jahreszeit das Kühlschiff ohnedies zumeist nicht ausreicht, die Würze entsprechend tief abzukühlen, und weil damit auch ein erheblicher Zeitverlust verbunden ist. Dadurch entfällt dann auch die Notwendigkeit, die Würze übermäßig lange auf dem Kühlschiffe liegen zu lassen. Hat sie sich auf zirka 70° abgekühlt, so kann sie sogleich über die Kühlvorrichtung gesendet werden, womit auch der Vorteil verknüpft ist, daß das Kühlschiff viel früher zur Aufnahme eines neuen Sudes frei wird.

Die Nachteile, die unzweifelhaft mit der Verwendung des Kühlschiffes verbunden sind, legten auch den Gedanken nahe, diese Vorrichtung ganz aus der Brauereien zu verbannen und an ihre Stelle ausschließlich die Kühlung in Kühlapparaten treten zu lassen. Werden dann an Stelle der meist gebräuchlichen offenen Kühlvorrichtungen, bei denen die Würze der Luft ausgesetzt eine von innen gekühlte Fläche mit großer Oberfläche überrieselt, geschlossene Kühlvorrichtungen benutzt, so wird dadurch auch unzweifelhaft jede weitere Infektionsmöglichkeit ausgeschaltet oder doch auf ein sehr geringes Maß herabgedrückt. Allerdings setzt dies voraus, daß solche geschlossene Kühlvorrichtungen im Innern peinlich rein gehalten werden, eine Forderung, der hier entschieden minder leicht entsprochen werden kann, als bei offenen Kühlern. Darauf ist es wohl auch zurückzuführen, daß in den Kreisen der Praktiker vielfach eine Abneigung gegen die Verwendung geschlossener Kühlvorrichtungen besteht, trotzdem man von ihrer Verläßlichkeit und Brauchbarkeit im allgemeinen überzeugt ist.

Diese Abneigung ist aber zum Teil auch noch auf eine andere Ursache zurückzuführen. Die Würze wird nämlich auf dem Kühlschiffe nicht nur ausgekühlt, sondern sie erfährt auch durch die Berührung mit Luft, der sie eine sehr große Ober-

fläche darbietet, noch weitere Veränderungen. Zunächst ist zu beachten, daß die Würze auf dem Kühlschiffe noch weiter konzentriert wird, dann steht aber auch fest, daß sie Sauerstoff aufnimmt. Dies geht aus der Abscheidung von Eiweißkörpern und Bestandteilen des Hopfens ebenso hervor, wie aus dem Nachdunkeln, das sich stets bemerkbar macht. Auch die erkaltete Würze nimmt später noch Luft, beziehungsweise Sauerstoff auf und dies ist bestimmt auf den Verlauf des Gärungsvorganges von Einfluß.

Alle diese Einwirkungen fallen ganz oder zum größten Teil weg, wenn die heiße Würze sofort ohne besondere Vorkehrungen in geschlossenen Kühlvorrichtungen abgekühlt wird. Man hat daher auch nach dieser Richtung durch Lüftung der heißen und kalten Würze Abhilfe geschaffen, und benutzt dazu keimfrei gemachte, also filtrierte, gewaschene oder überhaupt sterilisierte Luft. Wir werden später auf die Vorschläge nach dieser Richtung noch zu sprechen kommen.

Jedenfalls geht aus dem Gesagten hervor, daß ein Ersatz des Kühlschiffes sowohl wünschenswert, wie möglich ist, daß diese Frage jedoch nicht allein vom Standpunkte der Möglichkeit von Infektionen auf dem Kühlschiffe beantwortet werden darf. Sowohl mit dem Kühlschiffe, wie mit offenen Rieselkühlvorrichtungen lassen sich ausgezeichnete Erfolge erzielen, besonders dann, wenn man diese Apparate so aufstellt, daß nach Möglichkeit nur reine, staubfreie Luft Zutritt findet, wenn man durch peinlichste Sauberkeit die Gefahr von Infektionen herabsetzt und die Würze nicht länger auf dem Kühlschlffe liegen läßt, als es unbedingt nötig ist.

3. Die Gärung der Würze.

Die Vergärung der Würzen zum Zwecke der Bierfabrikation ist von den Verfahren der Spiritusbrennerei grundverschieden. Zunächst entfällt, da es sich um die Bereitung eines Nahrungs- und Genußmittels handelt, naturgemäß die Verwendung aller jener Stoffe, die der Brenner zu dem Zwecke anwendet, um reine Gärungen zu erzielen. Dies ist auch hier nicht nötig, weil schon durch das Kochen der Würze mit Hopfen Stoffe in die Würze gelangen, welche

die Entwicklung von Nebengärungen erschweren. Ferner wird die Gärung in untergärigen Brauereien bei so niederer Temperatur durchgeführt, daß auch dadurch schon ein gewisser und ziemlich wirksamer Schutz gegen Nebengärungen erzielt wird. Allerdings ist dadurch keineswegs jede Gefahr ausgeschlossen. Denn die „wilden Hefen“ sind auch gegen die antiseptischen, aus dem Hopfen stammenden Stoffe resistent und auch gewisse Spaltpilze vermögen sich bei niederen Temperaturen zu entwickeln, wie z. B. die Sarcinen. Doch haben wir auch hier in der Verwendung von Reinzuchthefen das sicherste und bewährte Mittel, unliebsame Nebengärungen zu vermeiden und die Hefe durch Anwendung der Gebote der „natürlichen Reinzucht“ rein zu erhalten. Zu diesen gehört — ebenso wie in allen anderen Gärungsgewerben — auch die größte Reinlichkeit und die Anwendung von Desinfektionsmitteln zur Reinigung der Gefäße, Rohrleitungen ꝛc. Wir verfügen heute über eine große Reihe solcher Stoffe, die alle ziemlich gleich gut verwendbar sind, wie Soda, unterschwefligsaurer Kalk, Formalin usf. Es handelt sich immer nur darum, daß die Reinigung, beziehungsweise Desinfektion regelmäßig und gründlich durchgeführt wird.

A. Die Untergärung.

Die Untergärung verläuft bei Temperaturen, die zwischen 5 und 10° liegen, der Name stammt daher, weil sich die Hefe (Unterhefe) auf dem Boden des Gärgefäßes ablagert. Die Gärung selbst verläuft in zwei Stadien, den ersten, lebhafteren Gärungsvorgang, der sich im Gärkeller abspielt, bezeichnet man als Hauptgärung, den zweiten, weitaus langsameren und länger anhaltenden als die „Nachgärung“, sie wird in dem sehr kalt gehaltenen Lagerkeller durchgeführt.

Auch von der Beschaffenheit der Gärräume in den Brauereien gilt so ziemlich dasselbe, was von den Gärräumen der Spiritusfabriken gesagt wurde. Da aber hier die Gärung bei niederer Temperatur verläuft, ist noch mehr als dort auf gute Isolierung des Gärkellers zu sehen, um Kälteverluste zu verhüten. In allen größeren Betrieben sind ferner Ein-

richtungen vorhanden, welche die künstliche Kühlung des Kellers ermöglichen. Man ist dann auch nicht auf die Benutzung unterirdisch gelegener Lokale als Gärkeller angewiesen, sondern kann jeden oberirdisch gelegenen Raum dazu verwenden, soferne man nur durch zweckmäßige Bauweise gegen zu starke Erwärmung von außen Sorge trägt.

Die Gärgefäße sind zumeist aus Eichenholz verfertigt, das zum Schutze gegen Infektionen und zur Erhöhung der Haltbarkeit meist mit einem schützenden Anstriche überzogen wird. Man verwendet entweder einen geeigneten Asphaltlack (siehe S. 314) oder picht die Bottiche aus, oder überzieht sie an der Innenseite mit einer dünnen Schicht Paraffin, während sie außen zweckmäßig mit Ölfarbe gestrichen werden. Das Innere der Gärgefäße überzieht sich bald mit einer Schicht von Bierstein, die nur dann zu entfernen ist, wenn seine Oberfläche rauh wird. Auf glatten Oberflächen, wie in lackierten oder gepichten Gärgefäßen pflegt sich dagegen der Bierstein nur in dünner Lage anzulegen.

Die verschiedenen Nachteile, welche die Verwendung hölzerner Gärgefäße mit sich bringt, führten schon vor langer Zeit auf den Gedanken, sie durch anderes Material zu ersetzen. Man benutzt gemauerte Behälter, die mit Schiefer- oder Glasplatten ausgelegt sind, innen emaillierte Eisenbehälter, Gefäße aus Eisenblech, die gepicht werden, endlich Gärbehälter aus Zement, die aber innen ebenfalls einen schützenden Überzug erhalten müssen, als welcher sich Paraffin oder auch Pech als zweckmäßig erwies. Jedenfalls besitzen solche Gärgefäße mannigfache Vorteile, sie sind haltbarer und leichter zu reinigen, können fast in jeder beliebigen Größe hergestellt werden und ermöglichen eine sehr gute Ausnutzung des Raumes. Überhaupt besitzen große Gärgefäße manche Vorzüge vor kleinen, besonders den, daß es leichter ist, ein großes Flüssigkeitsquantum auf der erforderlichen Temperatur zu erhalten, als ein kleines, weil die Oberfläche im Verhältnis zum Fassungsraume relativ um so größer wird, je geringer der Inhalt des Gefäßes ist.

Die Hefe und das Stellen der Würze.

Ist die Würze auf die Anstelltemperatur von 5° abgekühlt, so wird sie mit der Hefe versetzt. Man rechnet gewöhnlich pro 100 Liter Würze 0·5 Liter dickbreiige Hefe, die als „Samenhefe“ oder als „Satz“ oder als „Zeug“ bezeichnet wird. Sie wird der im Gärbottich abgelagerten Hefenschicht entnommen, wobei jedoch eine Sortierung der Hefe durchgeführt wird. Denn die Hefe ist nicht ihrer ganzen Menge nach gleichartig, es muß daher eine Auswahl getroffen werden, die gleichbedeutend mit natürlicher Reinzucht ist.

Wenn man die im Gärgefäße abgelagerte Hefe näher untersucht, so wird man meist deutlich drei Schichten zu unterscheiden vermögen. Zu unterst lagern sich die in der Würze noch suspendierten Stoffe, untermischt mit alten oder toten Hefezellen ab. Inzwischen setzt die Gärung ein und es findet Neubildung von Hefe statt. Die zweite Schicht besteht daher aus jungen, lebenskräftigen und physiologisch tätigen Zellen, diese „Kernhefe“ ist es, welche der Brauer ausscheidet und als Samenhefe weiter benutzt. Als dritte Schicht setzen sich nach Beendigung der Hauptgärung die noch suspendierten leichten Zellen langsam ab. Auch sie sind physiologisch minderwertig, außerdem werden wir auch hier etwa vorhandene „wilde“ Hefen antreffen, die kleinzellig und daher leichter sind und länger suspendiert bleiben.

Die Kernhefe wird zunächst einer Reinigung unterzogen, um sie von den beigemengten gröberen Verunreinigungen zu trennen. Zu diesem Zwecke gießt man sie durch ein Haarsieb und verrührt sie in der Zeugwanne mit sehr kaltem Wasser, worauf man sie sich absetzen läßt. Auch hier findet wieder eine Schichtung statt, wobei die mittlere Schicht die besten und kräftigsten Zellen enthält. Man wiederholt diesen Vorgang meist noch einmal — zu weitgehendes Auswaschen würde die Hefe schwächen — und bewahrt sie dann sehr kühl auf, indem man das Hefenwasser künstlich kühlt oder in die Zeugwanne einen Schwimmer mit Eis einsetzt. Unmittelbar Eisstücke in die Zeugwanne zu bringen ist nur dann ratsam, wenn das Eis sehr rein ist.

Das Anstellen der Würze mit der Hefe wird auf verschiedene Art ausgeführt. Man unterscheidet das „Trockengeben" und das „Naßgeben". Wird die Hefe trocken gegeben, so bringt man die für einen Gärbottich bestimmte Menge in ein Gefäß und übergießt sie hier mit Würze, in der sie gut verteilt wird. Dann wird die Flüssigkeit wiederholt aus dem Gefäße in ein anderes und wieder zurück gegossen, bis die Flüssigkeit schaumig geworden ist. Man erzielt dadurch sowohl eine gleichmäßige Verteilung, als auch eine gründliche Lüftung, wodurch, wie wir wissen, besonders die Vermehrung der Hefe günstig angeregt wird. Die Flüssigkeit wird schließlich der im Gärbottiche befindlichen Würze zugesetzt; in größeren Betrieben benutzt man zum „Aufziehen" der Hefe, wie dieser Vorgang heißt, mechanische Vorrichtungen, die „Hefeaufziehapparate".

Das Naßgeben hat vor allem den Zweck, die Hefe zunächst zu kräftigen. Es geschieht derart, daß man die Hefe in einem größeren Würzequantum verteilt, dessen Temperatur 12 bis 18° beträgt. Wenn sich dann die Anzeichen der beginnenden Gärung einstellen, wenn sich also die Hefe schon kräftig vermehrt hat, so wird diese gärende Würze in den Gärbottich gebracht. Dieser Vorgang wird auch als „Herführen" bezeichnet. Das Naßgeben sollte nur unter besonderen Umständen angewendet werden, etwa dann, wenn nur wenig Hefe zur Verfügung steht und diese zunächst vermehrt werden muß, oder wenn es sich darum handelt, die dem Reinzuchtapparate entnommene Hefe rasch zu vermehren. Denn es darf nicht übersehen werden, daß durch das „Herführen" die Hefe unter andere Verhältnisse gebracht wird, als jene sind, bei denen sie arbeiten soll. Dies gilt sowohl von der höheren Temperatur, wie auch von der ihr zu Gebote stehenden Menge Würze. Ist diese gering bemessen, so kann die Hefe physiologisch geschwächt werden. Jedenfalls ist die zum Naßgeben verwendete Würzemenge nie zu gering zu bemessen.

Der als „Darauflassen" bezeichnete Vorgang ist dem Naßgeben ähnlich und besteht darin, daß man frische, gekühlte Würze in den Gärbottich bringt, wenn die Gärung schon angetreten ist. Auch dadurch findet naturgemäß eine

Kräftigung der Hefe statt, indem man ihr neue Nahrung zuführt. Der Erfolg ist daher auch zumeist der, daß der Vergärungsgrad durch das „Darauflassen“ erhöht wird, weil eben die Hefe physiologisch gekräftigt und nochmals zur Vermehrung angeregt wird.

Jede Hefe degeneriert im Laufe der Zeit und dies macht sich durch Veränderungen des Geschmackes und Geruches des Bieres und durch Veränderung des Vergärungsgrades, der zumeist ansteigt, geltend. Allerdings müssen unliebsame Erscheinungen durchaus nicht immer durch die Hefe verursacht werden, es kann auch die Beschaffenheit der Würze, beziehungsweise des Malzes, die Verwendung neuer Gärgefäße &c. schuldtragend sein. Geht die Ursache aber von der Hefe aus, so ist ein Hefenwechsel unbedingt vorzunehmen. Wird nun neue Samenhefe von auswärts bezogen, so muß sie unter den neuen Verhältnissen durchaus nicht entsprechen, selbst wenn sie am Orte ihrer Herkunft vollauf befriedigt. Es ist daher weit besser, sich mit Hilfe eines Reinzuchtapparates die nötige Hefe, und zwar stets dieselbe Rasse, selbst heranzuzüchten und nach Bedarf solche neue Reinzuchthefe in den Betrieb einzuführen. Man ist dann sicher, eine brauchbare Hefe, die stets Bier mit dem gleichen Charakter liefert, zur Verfügung zu haben, kann häufiger einen Hefenwechsel durchführen und wird dann auch niemals unter Nachteilen, die von degenerierter Hefe herrühren, zu leiden haben.

Die Hauptgärung.

Während der Hauptgärung lassen sich an der gärenden Würze vier Stadien unterscheiden, nach denen der Verlauf der Gärung beurteilt wird. Diese vier Stadien treten je nach der Gärkraft der Hefe und der Temperatur der Würze bald früher, bald später ein und verlaufen auch verschieden rasch.

Das erste Stadium wird als „Ankommen“ bezeichnet. Es umfaßt die ersten Anzeichen der beginnenden Gärung, die sich durch schwache Kohlensäureentwicklung und Absonderung eines dünnen, weißen Schaumes auf der Oberfläche der Würze kennzeichnet. Zunächst, und zwar nach 12 bis 20 Stunden scheiden sich am Rande des Gärgefäßes zarte, weiße Bläschen,

ab, die lebhafteren Erscheinungen pflegen sich erst nach längerer Zeit, nach 18 bis 30 Stunden, einzustellen.

Im zweiten Stadium, dem der „niederen Kräusen", entfernt sich der Schaumkranz zuerst vom Rande des Bottichs — „das Bier schiebt weg" oder „bricht auf" — und wird fester. Gleichzeitig wird er eigentümlich zackig und zerklüftet, es tritt lebhaftere Kohlensäureentwicklung auf und die Temperatur der Würze steigt. Die Kräusenbildung hängt mit dem Hopfenzusatze zum Bier, beziehungsweise mit seinem Gehalt an Hopfenharz zusammen, ungehopfte Würzen bilden bei der Gärung zwar Schaum, aber nie die eigentümlichen und charakteristischen Formen der Kräusen. Der Schaum ist durch beigemengtes Hopfenharz stark bitter und klebrig. Diese Periode währt 2 bis 3 Tage.

Im dritten Stadium, dem der „hohen Kräusen", ist die Kohlensäureentwicklung noch lebhafter und bewirkt die Auflockerung der Kräusen, die sich nun aber hoch aufbauen. Gleichzeitig werden sie vom Rande her gelblich bis braun („Braunkräusen"). Hohe Kräusen sind ein Anzeichen dafür, daß die Hefe sehr kräftig ist, doch hängt die Bildung der hohen Kräusen auch mit der Hopfengabe zusammen. Stark gehopfte, konzentriertere Würzen bilden im allgemeinen höhere Kräusen als solche, die nur eine geringe Hopfengabe erhalten haben.

Das vierte Stadium heißt „Durchbruch". Die Intensität der Gärung läßt nach, die Kräusen sinken zusammen und verschwinden schließlich ganz und es hinterbleibt eine schmutzig gefärbte Schaumdecke, die vorzugsweise aus Eiweißstoffen, Hopfenharz, Hefezellen 2c. besteht. Diese Decke muß entfernt werden, ehe das Bier zur Nachgärung gelangt, denn sonst würde es einen höchst unangenehmen, bitteren Geschmack bekommen.

Der Verlauf der Gärung wird mit Hilfe des Saccharometers verfolgt, das immer weniger Extrakt anzeigt, je weiter die Gärung fortschreitet. Während die Abnahme der Saccharometeranzeige im Stadium der niederen Kräusen 0·5 bis 0·8 Prozent beträgt, erreicht sie während der „hohen Kräusen" 1 Prozent und mehr pro Tag. Die Hauptgärung kann als

beendet angesehen werden, wenn die tägliche Abnahme der Saccharometeranzeige nur mehr rund 0·1 Prozent beträgt.

Ein weiteres Erkennungszeichen für das Ende der Hauptgärung bildet ferner das Verhalten des Jungbieres im Schaugläschen. Wird das Schaugläschen mit Würze gefüllt ruhig stehen gelassen, so soll sich die Hefe rasch und fest absetzen und die Flüssigkeit glänzend erscheinen. Das Zusammenballen der Hefe bezeichnet man als „Bruch", diese Erscheinung hängt sowohl von der Zusammensetzung der Würze, wie von den Rasseeigentümlichkeiten der Hefe ab. Manche Hefen bilden keinen „Bruch" („Staubhefen"), während die „Bruchhefen" die Eigenschaft des Zusammenballens in hohem Grade besitzen. Dies hängt mit der Beschaffenheit der Zellmembran zusammen, die bei den „Bruchhefen" mehr klebrig sind.

Während der Hauptgärung steigert sich die Temperatur der gärenden Würze und die Temperatursteigerung kann selbst in kalten Gärkellern bis zu 7° betragen, wodurch die Temperatur der mit 5 bis 7° angestellten Würze sich bis zu 15° erhöht. Gelingt es nicht, durch Abkühlung der Luft im Keller die Temperatur entsprechend tief zu halten, so muß zur künstlichen Kühlung gegriffen werden, indem man mit Eis gefüllte Schwimmer in die Bottiche einsenkt oder Bottichkühler verwendet. Sie haben den Vorteil, daß sie eine raschere und gleichmäßigere, sowie leichter und besser zu regulierende Kühlung gestatten.

Anormale Gärungserscheinungen.

Verlaufen die Gärungserscheinungen im allgemeinen so, wie sie eben beschrieben wurden, so kann die Gärung als normal bezeichnet werden. Doch treten mitunter Erscheinungen ein, die hiervon abweichen und teils tatsächlich, teils aber nur vermutlich auf einen anormalen Verlauf der Gärung zurückzuführen sind. Hierher gehört z. B. die Blasengärung.

Bei der Blasengärung zeigen sich zwischen den Kräusen große Blasen und dies wird gewöhnlich als eine Folge unreiner Gärung angesehen. Doch lehrt anderseits die Erfahrung, daß sich das Jungbier trotzdem bei der Nachgärung ganz normal verhält, eine Erscheinung, die allerdings nicht immer

und regelmäßig eintritt. Oft ist solches Bier nicht haltbar und nimmt auch einen unangenehmen Geschmack an. Es ist daher wohl angezeigt, dem Auftreten der Blasengärung Beachtung zu schenken. Jedenfalls hat, wie Untersuchungen von Reichard zeigten, die Blasengärung verschiedene Ursachen und dementsprechend ist auch ihr Auftreten bald harmlos, bald nachteilig. Wird die Blasengärung durch Infektionen, etwa infolge mangelhafter Reinigung der Bottiche 2c., hervorgerufen, so läuft auch das Bier Gefahr, zu verderben. Ist sie dagegen nur die Folge sehr lebhafter Kohlensäureentwicklung oder ungenügender Ventilation des Gärkellers, wobei durch die angesammelte Kohlensäure der Luftdruck steigt und die Blasen sich auszubilden vermögen, ehe sie platzen, so kann dem leicht abgeholfen werden und es besteht keine Gefahr für das Bier. Auch die Zusammensetzung der Würze kann zur Blasengärung Anlaß geben, besonders dann, wenn sie aus jungem oder schlecht bereitetem Malz erzeugt oder wenn das Malz bei sehr hoher Temperatur gedarrt wurde.

Eine andere unliebsame Erscheinung ist das „Rasten der Gärung“. Es kommt nicht zu besonders lebhafter Kohlensäureentwicklung, die Kräusen bilden sich nur wenig aus und alles deutet auf einen langsamen Verlauf der Gärung hin. Die Ursache liegt meist in einem schlechten physiologischen Zustande der Hefe, kann aber auch durch anormale Zusammensetzung der Würze verursacht sein. Um die Gärung anzuregen, pflegt man die Würze in einen anderen Bottich zu bringen und neuerdings mit kräftiger Hefe anzustellen.

Die umgekehrte Erscheinung wird als „Nachschieben“ bezeichnet. Wenn die Kräusen schon beginnen zurückzugehen, setzt die Gärung nochmals lebhafter ein, doch sind besondere Nachteile mit dieser Erscheinung wohl nie verbunden. Durch stärkere Kühlung der Würze kann sie leicht behoben werden.

„Kalte Flecken“, das sind kahle, nicht mit Schaum bedeckte Stellen auf der Würze, während der niederen Kräusen deuten auf zu schwache Gärung hin. Sie zeigen sich zumeist, wenn die Würze zu kalt angestellt wurde oder wenn die Hefengabe zu gering war. Durch Erhöhung der Kellertem-

peratur, sowie durch Verwendung reichlicherer Mengen kräftiger Hefe läßt sich diese Erscheinung leicht beheben.

Nach Thausing lassen sich die erwünschten und die unerwünschten Gärungserscheinungen in folgende Sätze zusammenfassen:

Erwünschte Gärungserscheinungen.	Unerwünschte Gärungserscheinungen.
Rasches Ankommen und baldige Kräusenbildung.	Träges Ankommen.
Niedere Kräusen, dicht, geschlossen.	Kahlstellen, Kräusenschaum locker.
Hoch emporsteigende, anhaltende Hochkräusen.	Die Hochkräusen sind trotz niedriger Temperatur locker, schaumig und fallen bald zusammen.
Bei dem Durchbruch eine dicke und dichte, glatte, braune Decke.	„Nachschieben" oder Auftreten von Blasen.
Der Geruch der gärenden Würze ist während der ganzen Gärdauer ein für die einzelnen Gärungsstadien charakteristisch angenehmer.	Der Geruch während der Gärung ist nicht aromatisch oder gar mehr oder weniger unangenehm fremdartig.
Das reife Bier klärt sich im Schauglas rasch und vollkommen bei Zimmertemperatur.	Das Bier klärt sich im Schauglas sehr schwer und unvollkommen (opalisiert).
Die Schlußdecke ist dicht, stark, braungefleckt.	Die Decke ist blasig und schwach oder fehlt ganz.
Der Spiegel des reifen Bieres ist schwarz.	Der Spiegel des reifen Bieres ist „fuchsig".
Der Vergärungsgrad ist von erwünschter Höhe.	Der Vergärungsgrad ist abnorm niedrig oder abnorm hoch.
Der Geschmack und Geruch des reifen Bieres ist angenehm und der Sorte entsprechend charakteristisch.	Der Geschmack des reifen Bieres ist fremdartig unangenehm („leer", bitter, „dünn").

Die Gärdauer ist den Verhältnissen entsprechend kurz.	Die Gärdauer ist abnorm lang.
Die Hefe ist fest auf dem Boden des Bottichs abgesetzt.	Die Hefe liegt lose auf dem Boden des Bottichs, ist dünnflüssig oder steigt während des Schlauchens auf.
Es ist viel neue Hefe gebildet worden.	Es ist verhältnismäßig wenig neue Hefe gebildet worden.

Unter „Vergärungsgrad" versteht man jene Zahl, welche angibt, wieviel von 100 Gewichtsteilen Extrakt vergoren sind. Zumeist wird mit dem „scheinbaren Vergärungsgrad" gerechnet, d. h. mit der im Jungbiere bei Gegenwart des Alkohols ermittelten Saccharometeranzeige, die durch den spezifisch leichteren Alkohol zu gering ausfällt. Er wird nach der Formel

$$\frac{E - e}{E} \cdot 100$$

berechnet, in der E den Extraktgehalt der Stammwürze, e den Extraktgehalt des Jungbieres, ausgedrückt in Saccharometergraden nach Balling, bedeutet. Dunkle Biere werden weniger stark vergoren, hier beträgt der (scheinbare) Vergärungsgrad ungefähr 50 Prozent, lichte Biere, die man stärker vergären läßt, zeigen einen Vergärungsgrad von 55 bis 60 Prozent. Während der Nachgärung nimmt der (scheinbare) Vergärungsgrad noch um etwa 10 bis 15 Prozent zu.

Der Vergärungsgrad hängt von verschiedenen Umständen, von der Zusammensetzung der Würze, ihrem Gehalt an vergärbaren Substanzen, von der Hefe ꝛc. ab. Delbrück führt folgende Umstände, als den Vergärungsgrad beeinflussend, an:

1. Die Zusammensetzung der Würze in bezug auf ihren Gehalt an Maltose und Dextrin, sowie an Stickstoffsubstanzen, Salzen und indifferenten Ausscheidungen. Auf dem Bottich wird in der Regel nur die Maltose vergoren. Reiche Stickstoffernährung führt zu energischer Entwicklung der Gärung, aber auch von Bruchhefe und deshalb vielfach trotzdem zu geringer Vergärung. Die indifferenten Stoffe (Trub,

Harz, Eiweißausscheidungen) können hemmend und fördernd auf die Vergärung wirken.

2. Die Heferassen. Staubhefen geben hohe Vergärung, Bruchhefen niedrige. Hefen, welche nur Maltose vergären können (Typus Saaz), geben niedrige, solche, welche auch Isomaltose (Maltodextrin) angreifen (Typus Frohberg), hohe Vergärung.

3. Den physiologischen Zustand der Hefe, welcher durch die Förderung oder Hemmung der Sproßtätigkeit, die Temperaturführung, die Gewinnung und Behandlung des Satzes, endlich durch das Verfahren beim Anstellen beeinflußt wird.

Die Nachgärung.

Nach Beendigung der Hauptgärung kommt das Jungbier in den Lagerkeller, um hier für den Konsum reif zu werden. Hier macht es bei sehr niederer Temperatur die Nachgärung durch, die sich außer der weiteren, allerdings geringen Zunahme des Vergärungsgrades auch noch durch andere Erscheinungen äußert. So setzt sich die Hefe sehr vollständig ab, weil die Gärung ganz langsam verläuft, gleichzeitig nimmt das Bier Kohlensäure auf, was durch das „Spunden“ befördert wird.

Die Temperatur im Lagerkeller soll nach Möglichkeit nieder sein und 2 bis 2·5° niemals übersteigen. Die Lagerfässer werden fast ausschließlich aus Eichenholz verfertigt, für ihre Größe ist der Tagesausstoß der Brauerei maßgebend. Sie werden vor der Verwendung gepicht.

Gewöhnlich wird jeder Sud auf mehrere Lagerfässer verteilt, wodurch eine größere Gleichmäßigkeit des Bieres erzielt wird. Auch während der Nachgärung lassen sich verschiedene Stadien unterscheiden, die früher oder später eintreten, je nachdem das Bier „grün“ oder „lauter“ gefaßt wurde und je nach der Beschaffenheit der Hefe. Zunächst zeigt sich am Spundloch ein zarter, weißer Schaum: „das Bier greift an“. Tritt der Schaum heraus und bildet er eine den niederen Kräusen ähnliche Haube, so sagt der Brauer: „das Bier käppelt“. Dies dauert je nach den Umständen 9

bis 24 Tage. Wird endlich der Schaum infolge von ausgeschiedenem Hopfenharz braun und großblasig, so hat das Bier „ausgekäppelt“ oder „verstochen“.

Nach Ablauf dieser Erscheinungen ist das Bier immer noch in stiller Nachgärung begriffen, in der es konsumiert wird. Vor dem Abfüllen in die Transportfässer wird es meist gespundet. Man verschließt das Spundloch mit einem gut passenden Spund und verhindert dadurch das Entweichen von Kohlensäure, wodurch das Bier „Trieb“ bekommt. Um das Bier ganz klar zu erhalten, wird es oft noch filtriert. Die Lagerzeit ist meist nach dem Gehalte der Stammwürze verschieden und währt um so länger, je konzentrierter sie war. Doch auch der Vergärungsgrad bestimmt die Lagerzeit, indem diese bei niedrig vergorenen Bieren länger sein muß. Das Bier darf aber auch nicht zu alt sein, wenn es zum Ausstoß gelangt, weil es durch zu langes Lagern kohlensäurearm und dadurch schlecht schmeckend wird.

Fehler des Bieres.

Fehler und Krankheiten des Bieres können durch verschiedene Ursachen bedingt werden. Wir haben zwischen Fehlern zu unterscheiden, die nur durch Mängel in der Bereitung, durch Fehler, die bei der Malzbereitung oder beim Maischen 2c. gemacht wurden, und zwischen Fehlern, die ihre Ursache im Auftreten von schädlichen Mikroorganismen haben und bis zum völligen Verderben des Bieres führen können

Diese Fehler des Bieres können sowohl das Aussehen wie auch den Geschmack und Geruch des Bieres oder beide Eigenschaften zugleich betreffen. Endlich haben wir auch zwischen Fehlern zu unterscheiden, die durch die nachträgliche Behandlung des Bieres, wie etwa durch Filtrieren oder Schönen, behoben werden können, und solchen, die das Bier überhaupt vom Ausstoß ausschließen oder zum Genuß ungeeignet machen. In gut geleiteten Brauereien, die unter einer umsichtigen Betriebskontrolle stehen, treten übrigens Bierfehler nur höchst selten auf und wenn sie vorkommen, so werden sie alsbald ihrer wahren Ursache nach erkannt und behoben.

Fehler, die den Geschmack betreffen, sind beispielsweise

die Beeinflussung des Biergeschmackes durch dumpfige Keller (kellerdumpf) oder der Harzgeschmack, den das Bier bei Verwendung ungeeigneten Harzes zum Auspichen der Fässer annehmen kann. Doch auch der Hopfen vermag direkt oder indirekt den Geschmack des Bieres zu verschlechtern, wenn es mit einer zu großen Hopfenmenge gekocht („überhopft") oder wenn schlechter Hopfen verwendet wurde. Auch zu langes Kochen mit dem Hopfen kann nachteilig wirken. Sinkt die Decke, welche, wie wir wissen, sehr viel Hopfenharz enthält, das sich während der Gärung ausscheidet, gegen Ende derselben in die Flüssigkeit zurück, so nimmt das Bier ebenfalls einen vom Hopfenharze (Hopfenbitter) herrührenden unangenehmen bitteren und kratzenden Geschmack an.

Auch an „Hefegeschmack" kann Bier leiden, doch ist dies ein Fehler, der zumeist nur bei jungen Bieren anzutreffen ist und der sich gewöhnlich mit dem Lagern und dem Fortschreiten der Nachgärung verliert. Sehr großen Einfluß auf den Geschmack des Bieres nimmt auch die darin gelöste Kohlensäure. Kohlensäurearmes, abgestandenes Bier schmeckt fade, leer und schal, dies ist aber ein Fehler, der zumeist nicht dem Brauer, sondern dem Wirte zur Last fällt, der das Bier nicht zu behandeln versteht.

Auch die Temperatur vermag den Geschmack des Bieres ganz bedeutend zu beeinflussen. Zu warmes Bier schmeckt unangenehm, ebenso solches, das zu sehr gekühlt ist. Die Temperatur, die das Bier im Augenblicke des Konsums besitzen soll, muß sich übrigens auch nach der Biersorte richten. So werden in der Regel dunkle, nach Münchener Art gebraute Biere etwas wärmer konsumiert wie die Wiener Biere oder die ganz hellen Biere nach Pilsener Art.

Gutes Bier soll blank, klar und frei von Trübungen sein. Trübungen, die mitunter auftreten, können die verschiedensten Ursachen haben und sind teils auf Fabrikationsfehler, teils auf die Anwesenheit von Mikroorganismen zurückzuführen. Fehler im Maischprozeß oder auch die Verwendung von schlecht bereitetem Malz (Glasmalz) oder auch zu starkes Darren, wodurch die Diastase beeinträchtigt wird, können zur Kleistertrübung führen, die auf vorübergehend

gebildeter löslicher Stärke beruht, die in der warmen Würze löslich ist und sich nach dem Abkühlen wieder ausscheidet. Durch Ausscheidung von Eiweißkörpern bildet sich die Eiweiß- oder Glutintrübung, schlecht ausgereifter Hopfen bewirkt mitunter durch Abscheidung von Harztröpfchen die nur selten vorkommenden Harztrübungen.

So unliebsam diese Erscheinungen auch sind, so sind sie doch weniger bedenklich, weil sie sich durch Schönen, Klären oder Filtrieren des Bieres zumeist leicht und vollständig entfernen lassen.

Weit bedenklicher sind jene Veränderungen des Bieres, die durch Mikroorganismen hervorgerufen werden. Hierher zählt zunächst das Sauerwerden des Bieres, das auf Bildung von Essigsäure oder Milchsäure zurückzuführen ist. Unreinlichkeit im Betrieb ist zumeist die unmittelbare Ursache. Unrichtige Behandlung des Bieres bei der Gärung kann Hefetrübungen veranlassen, die, sofern sie von der Kulturhefe herrühren, wenig zu bedeuten haben und sich durch Filtration leicht beheben lassen, dagegen bedenklicher sind, wenn sie ihr Auftreten einer wilden Hefe verdanken. Denn dann sind nicht selten ungünstige Veränderungen des Geschmackes gleichzeitig die Folge.

Wohl die unangenehmste und leider nicht eben seltenste Krankheit des Bieres, die sich sowohl durch das Auftreten einer Trübung wie durch einen höchst widerlichen Geschmack kennzeichnet, wird durch eine Bakterienart, durch die Sarzina (siehe S. 144), hervorgerufen. Die Sarzinen sind bedeutend kleiner als die Hefe und infolgedessen auch schwerer zu bekämpfen, doch gelingt es, wenn überall die größte Reinlichkeit herrscht, auch diesen ungebetenen Gast ferne zu halten. Eine Eigenschaft der Sarzinen, wodurch auch ihre leichte Verbreitung zum Teil bedingt wird, liegt darin, daß sie sich schon bei niederen Temperaturen zu entwickeln vermögen. Im Anfang kann das Umsichgreifen der Sarzinen durch gründliche Desinfektion der Gefäße, in denen sie auftraten, noch leicht verhindert werden, um so schwieriger dagegen, je länger man das Übel anstehen läßt. In der Verwendung von Reinhefe und in der peinlichsten Sauberkeit liegen die sichersten Mittel,

um das Auftreten von Fehlern und Krankheiten des Bieres, die durch Mikroorganismen bedingt werden, zu verhüten.

Bierbereitung unter Ausschluß von Infektionen.

Die Gefahren, welche die Verwendung des Kühlschiffes mit sich bringt, sind schon erörtert worden. An seiner Stelle wird die Verwendung geschlossener Kühlapparate empfohlen, wodurch nicht nur die zur Kühlung nötige Zeit wesentlich abgekürzt, sondern die Würze auch der Infektionsgefahr entrückt werden könnte. Doch auch in den weiteren Stadien des Brauprozesses ist die Möglichkeit von Infektionen immer noch vorhanden. Dies führt auf den Gedanken, die ganze Würze eines Sudes in geschlossenen Apparaten zu vergären — ähnlich, wie wir dies bei der Amylobrennerei kennen gelernt haben. Der Urheber dieses Gedankens ist Professor L. Nathan in Zürich, der den von ihm konstruierten Apparat Hansen zu Ehren „Hansena-Apparat" nennt. Der Apparat (Fig. 51 A und B) ist im Innern mit einem gegen Säuren unempfindlichen Glasemail überzogen. Er besteht im wesentlichen aus dem Gefäß zum Kühlen und Lüften der sterilen Würze und dem Gärgefäße.

Den Grundgedanken des Nathanschen Bierherstellungsverfahrens bildet — nach einer umfassenden Studie über dieses Verfahren von Prof. E. Jalowetz-Wien — die Bierbereitung in geschlossenen, großen, sterilen Gefäßen, wobei weder die zu kühlende Würze, noch das gärende oder reife Bier mit Metallflächen in Berührung kommt. Demzufolge wird die heiße Würze in einem geschlossenen, glasemaillierten Gefäße abgekühlt und unter Umrühren mit einer entsprechenden Menge Luft gesättigt; die so behandelte und vom Trub abgezogene Würze kommt in ein mit weißen Glasplatten ausgelegtes Gärgefäß, wird darin mit Reinhefe angestellt und unter Bewegung vergoren.

Die Gärungskohlensäure wird in einem Gasometer aufgefangen, in einer eigenartigen Reinigungsbatterie von den das Jungbukett des Bieres bedingenden Stoffen befreit und dem Brauereibetriebe wieder zugeführt. Hier findet die Kohlensäure Verwendung zur Verhinderung des Vakuums während

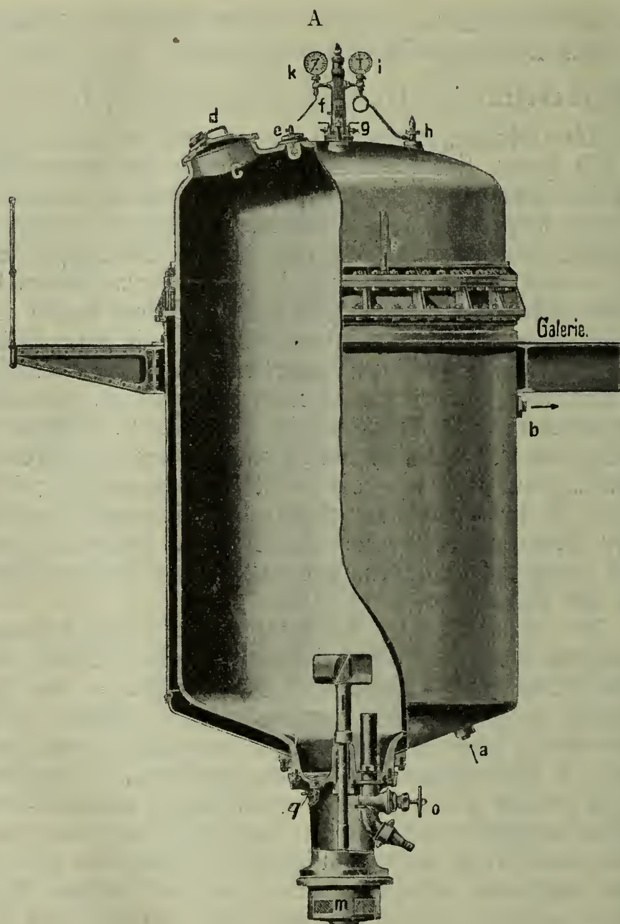
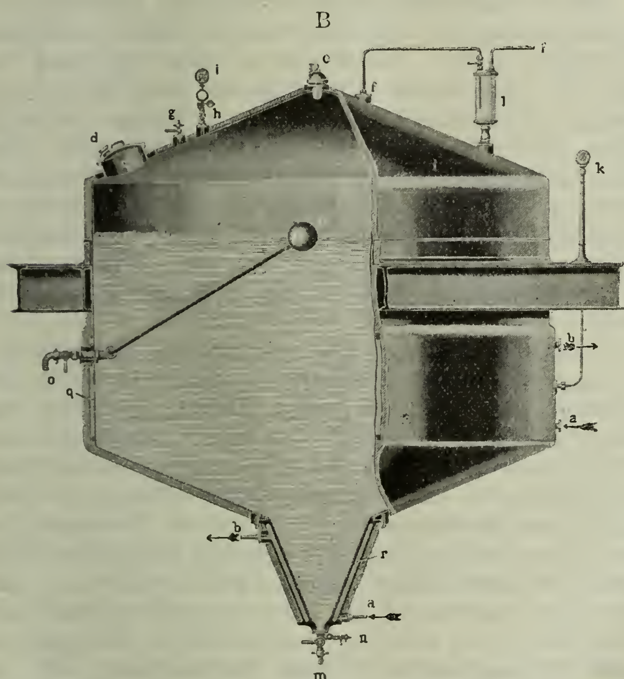


Fig. 51. L. Nathans „Hansena-Apparat. A Vorrichtung zum
Kühlwassers; b Austritt des Kühlwassers; c Mannloch; d Schauglas;
heitsventil; i Manometer; k Thermometer; l Laterne; m Würze-Ein-
abfüllhahn; p Schwimmer;

der Abkühlung der Würze, zur Bewegung der letzteren und zur Entfernung der sich während der Gärung bildenden

Jungbukettsstoffe, beziehungsweise zum Waschen der Gärflüssigkeit, zum Sättigen des vergorenen Bieres, zum Transport des Bieres in all seinen Phasen innerhalb der Brauerei und endlich zur Gewinnung verkaufsfähiger flüssiger Kohlensäure.

Nach beendigter Hauptgärung läßt man die Hefe sich absetzen und entfernt sie in dickbreiiger Form, worauf das Waschen des Bieres mit Kohlensäure solange fortgesetzt wird,



Lüften und Kühlen der sterilen Würze. B Gärgefäß. a Eintritt des
e Lampe; f Kohlensäureableitung; g Kohlensäureeinlaßhahn; h Sicher-
laß- und Hefeablaßhahn; n Einlaß für Bewegungskohlensäure; o Bier-
q Kühlmantel; r Kühlmantel.

bis alle durch Kohlensäure zu beseitigende Geruchstoffe (Jungbukett) entfernt sind.

Der nächste Vorgang ist das Sättigen des Bieres mit Kohlensäure in einem glasemaillierten Gefäße, wobei das Bier gleichzeitig gerührt wird. Nach dieser Operation, beziehungsweise nach 7 bis 9 Tagen ist ein 10- bis 12prozentiges Bier versandfertig und kann eventuell in die mit Glas ausgekleideten Vorratsgefäße übergeführt werden.

Die Erklärung für diesen ungewöhnlich raschen Reifungsprozeß ist in folgendem begründet:

Nathan hat durch eingehende Versuche festgestellt, daß durch Entfernung der sich während der Gärung bildenden Kohlensäure, also in dem Momente ihres Entstehens der größte Teil jener Stoffe beseitigt werden kann, die Nathan gemeinhin als Jungbukett bezeichnet; hierzu ist aber erforderlich, daß die gärende Flüssigkeit in Bewegung erhalten wird. Ohne mechanische Bewegung, etwa durch Absaugen allein, kann nur ein geringer Teil der Kohlensäure im Entstehungszustande entfernt werden; wird hingegen das gärende Bier während der Gärung mechanisch bewegt, so entweicht die Kohlensäure aus der Flüssigkeit rasch und nimmt gewisse Geruchsstoffe mit sich.

Um den beschriebenen Effekt zu erzielen, ist somit eine Bewegung der gärenden Flüssigkeit unbedingt erforderlich. Die Bewegung hat jedoch einen großen Nachteil zur Folge, der darin besteht, daß sich die Hefe sehr stark vermehrt. Für eine starke Hefevermehrung sind alle Bedingungen in einer Bierwürze gegeben, die in der üblichen Weise gekühlt und nachträglich unter Bewegung vergoren wird. Es ist nämlich bekannt und neuerdings von Nathan und Fuchs festgestellt worden, daß heiße Würze ungefähr das Dreifache an Luft aufzunehmen imstande ist, als die Hefe zu ihrer Vermehrung bei der Biergärung unbedingt braucht. Dieser Überschuß an Sauerstoff kommt bei der üblichen Bottichgärung nicht zur Verwendung, weil die Würze ruht; bewegt man hingegen die Würze, so muß eine starke Hefevermehrung eintreten, weil der gesamte Sauerstoff der Hefe zur Verfügung steht. Dies muß verhindert werden und Nathan begegnet dem in der Weise, daß der abzukühlenden Würze nur eine begrenzte Menge Luft zugeführt wird.

Faßt man nach den vorstehenden Erläuterungen das Wesen des beschleunigten Bierherstellungsverfahrens zusammen, so liegt dasselbe in den folgenden Momenten:

1. Begrenzte Sauerstoffzuführung während der Abkühlung und
2. mechanisches Rühren der gärenden Würze zum Zwecke der Entfernung der Kohlensäure.

Das Kühlgefäß besteht — nach einer Beschreibung von E. Jalowetz, in „Brau- und Malzindustrie" 1908 — aus einem 100 Hektoliter fassendem Unterteile und der 25 Hektoliter fassenden Deckelhälfte. Wie erwähnt, sind die Innenflächen des Apparates mit weißem Glasemail überzogen, welches von organischen Säuren nicht angegriffen wird, sich leicht reinigen läßt und schon seiner weißen Farbe wegen Unreinlichkeiten deutlich zeigt. Das Gefäß ist von einem schmiedeeisernen Mantel umgeben, in dem durch die Leitungen a—b nach Bedarf die Abkühlung, beziehungsweise Anwärmung besorgt werden kann. Auf dem Deckel des Apparates befinden sich das Mannloch c, das Schauglas d, die Lampe e für die Beleuchtung des Innenraumes um die Vorgänge durch das Schauglas leicht beobachten zu können, das Ventil f zum Absaugen der Kohlensäure, g zum Einblasen von Luft und Kohlensäure, das Sicherheitsventil h, das Vakuummanometer i und das Thermometer k. Am Boden des Apparates befindet sich die ebenfalls emailierte Rührvorrichtung l, die von dem Motor m aus angetrieben wird. Die am Boden befindlichen Ventile o und q dienen zum Ablassen von Bier und Hefe, das Thermometer p zur Kontrolle der Temperatur innerhalb des Mantels. Alle Teile der Armatur, die mit dem Biere in Berührung kommen, sind versilbert.

Mit dem Hansena-Apparate wird folgendermaßen gearbeitet. Die Würze wird aus dem geschlossenen Hopfenseiher in das Kühl- und Luftgefäß eingelassen und bleibt zunächst etwa 3 Stunden stehen, wobei die Temperatur auf 90° fällt. Ist dann der zweite Sud hinzugefügt, so wird mit der Kühlung unter gleichzeitiger Verwendung des Rührwerkes begonnen. Bis zu 76° wird sterile Luft auf den Würzespiegel

geblasen, dann wird die Luftzufuhr abgestellt und dafür wenig Kohlensäure zur Verhinderung der Bildung eines Vakuums zugelassen. Das Abkühlen unter gleichzeitigem Rühren wird solange fortgesetzt, bis die Temperatur von 7° erreicht ist.

Nun bleibt die gekühlte Würze eine Stunde ruhig stehen und wird dann mittels Kohlensäure in das Gärgefäß gedrückt. In dieses wird auch die aus dem Trub abgepreßte Trubwürze unter möglichster Vermeidung von Luftzufuhr gebracht.

Das Gärgefäß besitzt die Form eines breiten Zylinders mit einem sich kegelförmig verjüngenden Unterteile, durch dessen Spitze Kohlensäure eingeleitet wird. Die Kohlensäure übernimmt hier die Rolle einer Rührvorrichtung und hat den Zweck, die Bewegung der gärenden Würze zu verstärken. Das Gärgefäß ist im Innern mit eingepreßten, gewölbten Glasplatten ausgekleidet, deren Zwischenfugen mit einem Kitt, ähnlich dem Zahnkitt, ausgegossen sind. Die Armaturen sind dieselben, die auch das Kühlgefäß besitzt, nur ist hier an Stelle der Mantelkühlung im Innern des Apparates ein Kühlzylinder angebracht.

Vor der Verwendung wird das Gärgefäß sterilisiert, dies geschieht durch Alkoholdämpfe, die nach der Kondensation immer wieder in den Sterilisationsapparat zurückfließen. Der konische Unterteil, in dem sich die Hefe ansammelt, ist mit einer Mantelkühlung versehen.

Auf je 56 Hektoliter Ausschlagwürze mit 11·5° Balling werden bei jedem Sude nur 10 Kilogramm Hopfen verwendet, also eine für lichte Biere sehr geringe Menge. Die Hauptgärung verläuft bei Temperaturen von 7 bis 9° und dauert 96 Stunden. Das Jungbier besitzt nur geringen Hefengeschmack und die Hefe setzt sich schnell und grobflockig im Schauglase ab. Ende des dritten Tages hat die Sprossung aufgehört, am vierten Tage war Bruch eingetreten. Die Hefenernte beträgt das dreifache der Aussaat und wird in ein Vorratsgefäß abgelassen. Die luftfrei befundene Kohlensäure wird aufgefangen und zum Teil in schwachem Strome durch das Jungbier während der zweitägigen Reifung ge-

leitet, die bei 7 bis 8° stattfindet. Schon nach 24 Stunden hat das Jungbier durch diese Behandlung mit Kohlensäure den Bottichgeruch verloren. Die entweichende Kohlensäure wird in Wasser geleitet, dieses darf am Schlusse der Reifung weder einen fremdartigen Geruch noch Geschmack zeigen. Während der Reifung steigt der scheinbare Vergärungsgrad von 75 auf 77, der Alkoholgehalt von 3·66 auf 3·72 Prozent.

Aus dem Gärgefäße wird das Bier wieder in das Kühlgefäß gebracht, wo es auf 2° abgekühlt und dann mit Kohlensäure gesättigt wird; 600 Hektoliter Bier benötigen erfahrungsgemäß 35 Kilogramm Kohlensäure. Das Bier ist dann zu Ausstoße reif.

Wie aus dieser kurzen Beschreibung hervorgeht, haben wir es hier mit einem Verfahren zu tun, welches einerseits weitaus früher ein konsumfähiges Bier liefert und anderseits tatsächlich bei richtiger Handhabung jede Möglichkeit der Infektion fast ganz ausschließt. Der „Hansena-Apparat" wird in der Hansena-Brauerei im Geislautern (Saargebiet) verwendet, ob sich das Verfahren auch in anderen Brauereien einzubürgern vermag, muß abgewartet werden.

Die mikroskopisch-biologische Untersuchung ergab, daß das Hansena-Bier außerordentlich rein ist. Unter dem Mikroskope konnte nur Kulturhefe nachgewiesen werden und auch bei der biologischen Untersuchung wurden als Infektion ausschließlich Essigsäurebakterien in Spuren konstatiert. Die Haltbarkeit des Hansena-Bieres ist diesem Befunde entsprechend sehr groß; nach dreiwöchentlichem Stehen in der Originalflasche, also 4 Wochen nach dem Abziehen, hatte sich ein unmerkliches Depot gebildet, so daß das Bier auch nach dem Aufschütteln klar blieb.

Bezüglich des biologischen Bestandes unterscheidet sich das Hansena-Bier wesentlich von anderen ortsüblichen Bieren, welche alle mehr oder weniger infiziert waren, besonders durch Mykoderma, Torula und Milchsäurebakterien.

In die Einzelheiten der wirtschaftlichen Seite des Nathanschen Bierherstellungsverfahrens einzugehen, ist nicht leicht möglich, weil ja die Grundlagen für einen Vergleich infolge der weit unterschiedlichen Herstellungskosten selbst bei

ein und demselben Verfahren stark abweichen, je nachdem ein Bier stärker oder schwächer eingebraut ist, kürzer oder länger lagert u. dgl. m. Doch müssen Ersparnisse des Verfahrens vor allem in dem kurzen Gärverlauf liegen, der im Vergleiche zu dem üblichen Gärverfahren unter Einhaltung von Haupt- und Nachgärung folgende wirtschaftlichen Vorteile bieten wird: weniger Gärgefäße, geringerer Kälteverbrauch, geringere Anlagekosten für die Gärgefäße und Gärräume, minimale Schwendung, weil infolge der kurzen Bierleitungen der Netzungsverlust ein äußerst kleiner ist.

Das Verfahren bietet ferner die Möglichkeit, die überschüssige Kohlensäure zu gewinnen.

Der Kraft- und Kälteverbrauch findet einen Ausdruck im Kohlenverbrauch und dieser beträgt nach den von Jalowetz erhobenen Daten im Jahresmittel 26 Kilogramm Saarbrückner Kohle pro 1 Hektoliter Bier.

Die Arbeit im Sudhause und in der Hansena-Halle wird bei der Erzeugung von 30.000 Hektoliter von 4 Mann versorgt und selbst bei namhafter Steigerung in der Produktion ist eine Vermehrung kaum erforderlich.

B. Die Obergärung.

Die Hauptmenge des in Deutschland und Österreich bereiteten Bieres wird untergärig bereitet, Obergärung wird eigentlich — außer in England — nur zur Darstellung besonderer Biersorten, wie z. B. des Berliner Weißbieres benutzt. Der wesentlichste Unterschied zwischen Unter- und Obergärung liegt in der Temperatur, indem die Obergärung bei weit höheren Wärmegraden verläuft. Dementsprechend haben wir es hier auch mit anderen Heferassen zu tun, die sich hauptsächlich durch die Bildung zusammenhängender Sproßverbände auszeichnen. Die Hefe scheidet sich an der Oberfläche der gärenden Flüssigkeit ab.

Im Vergleiche mit der Untergärung der Würzen hat die Obergärung den Vorteil, daß der Vorgang rascher verläuft und daß, weil bei höheren Temperaturen gearbeitet wird, die Gärlokale nicht so weitgehenden Anforderungen

zu entsprechen brauchen. Dagegen sind obergärige Biere meist weniger haltbar und unterscheiden sich auch merklich im Geschmacke von den weit feineren untergärigen Bieren.

Zur Obergärung wird die Würze, die häufig, besonders in England, nach dem Infusionsverfahren bereitet wird, mit einer Temperatur von 10 bis 20° angestellt. Die Gärung verläuft viel rascher, als Gärgefäße dienen entweder offene Gefäße oder Fässer. Auch hier lassen sich 4 Stadien unterscheiden.

Meist schon 6 bis 10 Stunden nach dem Anstellen tritt an der Oberfläche ein feiner, weißer Schaum auf: „die Würze rahmt sich". Der Schaum schließt sich immer mehr zusammen, wobei sich leichte Kräusen bilden, die jedoch an einzelnen Stellen durchbrochen werden. Gleichzeitig wird Hopfenharz ausgeschieden: „der Hopfentrieb".

Im dritten Stadium wird der Schaum grobblasiger und steigt empor, die Temperatur erreicht den Höhepunkt und nun beginnt sich auch die Oberhefe abzuscheiden: „der Hefentrieb". Im vierten Stadium geht die Gärung zurück, der Schaum sinkt zusammen und an der Oberfläche des Jungbieres ist die Oberhefe in Form einer breiigen Decke ausgeschieden.

Vom Jungbiere wird die Hefe abgeschöpft, das Bier von der Bodenhefe abgezogen oder auch mit dieser in die Lagerfässer gebracht, wo es die Nachgärung durchmacht. Damit die Hefe durch das Spundloch gut ausgestoßen wird, müssen die Fässer stets spundvoll gehalten werden. Zeigt sich an Stelle der Hefe nur mehr ein weißer Schaum, so ist die Nachgärung beendet und die Fässer werden gespundet. Die ausgestoßene Hefe wird in untergestellten Behältern aufgefangen und als Bäckerhefe benutzt.

Gewisse Biersorten, so besonders das belgische Lambik und Mars werden durch Selbstgärung erhalten. Man stellt also hier nicht die Würze wie bei der Unter- und der Obergärung mit Hefe an, sondern füllt die auf 8 bis 12° gekühlte Würze in Fässer, die man in kühlen Kellern sich selbst überläßt. Die Würze gerät dann ebenfalls in Gärung, doch sind hier außer verschiedenen Heferassen auch andere Mikroorganismen tätig. Darauf ist auch der ziemlich stark saure

Geschmack dieser Biersorten zurückzuführen, die meist erst nach einem bis einigen Jahren konsumiert werden. Keinesfalls ist die Bereitung des Bieres durch Selbstgärung ein Vorgang, der zur Nachahmung empfohlen werden kann oder mit unseren gegenwärtigen Anschauungen über das Wesen der Gärung im Einklange steht. Die Selbstgärung kommt daher auch nur für die Erzeugung bestimmter, meist nur in enge umschriebenen Bezirken getrunkenen Biersorten in Betracht, wo man eben die durch den unreinen Verlauf der Gärung bedingten Geschmacksphänomene schätzt.

VIII. Abschnitt.

Hefe und Gärung in der Weinbereitung.

In noch höherem Grade als bei der Bierfabrikation kommt es bei der Weinbereitung darauf an, ein alkoholhaltiges Getränk mit ganz besonderen Eigenschaften des Geschmackes und Geruches zu erzeugen. Während es aber der Brauer durch geeignete Wahl des Rohmateriales und die Vorbehandlung, die es erfährt, bis zu einem gewissen Grade in der Hand hat, die Eigenschaften der zu vergärenden Flüssigkeit, der Würze zu beeinflussen und ihr — unabhängig von äußeren Einflüssen — stets dieselbe Zusammensetzung zu erteilen und dadurch bestimmend auf den Charakter des Bieres einzuwirken, das stets mit der gleichen Beschaffenheit und den gleichen Eigenschaften ausgestoßen werden kann, liegt dies bei der Weinbereitung anders. Hier übt sowohl die Rebensorte, wie die Durchführung der Gärung einen weitgehenden Einfluß, ebenso aber auch der Witterungsverlauf des Jahrganges, von dem zunächst der Zuckergehalt des Mostes abhängt und der bestimmend ist, ob von einem guten oder von einem schlechten Weinjahre die Rede sein kann.

Der durch die Gärung des Mostes entstehende Alkohol als solcher beeinflußt jedoch den Charakter des Weines nur wenig und bedingt nur den Unterschied zwischen „leichten" und „schweren" Weinen. Weit größer, ja eigentlich bestimmend ist hier Geschmack und Geruch. Von ihrer Ausbildung hängt die Güte des Weines ab, sie bestimmen seinen Wert und je lieblicher die „Blume", je reiner, runder und „harmonischer" der Geschmack, desto mehr wird der Wein geschätzt. Darauf

nehmen aber außer der Sorte auch die Lage ganz besonderen Einfluß und als ganz allgemeiner Unterschied sei angeführt, das die im Süden gekelterten Weine zwar wesentlich reicher an Alkohol, also schwerer sind, dagegen lange nicht den edlen Geschmack und die liebliche Blume aufweisen, wie die leichteren aber bukettreichen Weine der nördlicheren Gegenden.

Die Ursache dieser Erscheinung müssen wir in dem Zusammenwirken verschiedener Faktoren suchen. Zunächst im Einfluß des Klimas auf die Sorte überhaupt, dann aber wohl auch im Verlaufe der Gärung und den Heferassen. Denn die Weingärung ist eine Selbstgärung, die durch die autochthonen, auf den Trauben sitzenden Hefen eingeleitet wird. In jedem größeren Weinbaugebiete sind wohl ganz bestimmte Hefearten vorhanden, und ihnen hat der Wein des betreffenden Gebietes vor allem seine charakteristischen Eigenschaften zu verdanken.

Als man, angeregt durch die Forschungen Hansens, sich auch dem Studium der Weinhefen zuwendete, konnte dies bestätigt werden. Es ergab sich auch hier, daß der Charakter des Weines von der Hefe abhängt und daß mit der Verwendung von Reinzuchthefen große Vorteile verknüpft sind. Diese wurden allerdings zunächst meist überschätzt, doch heute, wo die Anschauungen als geklärt gelten können, hat sich die Reinhefe in vielen Betrieben auf dem Gebiete der Weinbereitung einen ebenso sicheren Platz erobert, wie in der Brennerei und in der Bierfabrikation.

Demnach ist der Wein durchaus nicht als ein „Naturprodukt“ im eigentlichen Sinne des Wortes aufzufassen. Denn sein Charakter hängt ganz besonders von der Kellerbehandlung ab, die ihm zuteil wird. Erst durch entsprechende, angemessene und sorgsame Pflege erhält er all die wertvollen Eigenschaften, derentwegen er geschätzt und mit hohen Preisen bezahlt wird, und die Weinbereitung ist ebenso eine Kunst, wie alle anderen Gärungsgewerbe.

Der Saft der Trauben, der Most enthält außer Zucker (Traubenzucker) noch zahlreiche andere Stoffe, die ebenfalls den Charakter des fertigen Produktes, des Weines, bestimmen. Hierher gehören zunächst die Säuren, unter denen vor allem

die Äpfelsäure und die Weinsäure eine große Rolle spielen. Ferner sind im Traubensaft stets Gerbstoffe vorhanden, die sich in besonders großer Menge in den Kämmen, Hülsen und Kernen vorfinden. Dann sind Gummi- und Pektinstoffe nachweisbar, eiweißartige und sonstige stickstoffhaltige Substanzen, Farbstoffe und endlich Mineralstoffe, unter denen besonders das Kali sehr reichlich vertreten ist.

Seiner Zusammensetzung nach bildet somit der Most ein ausgezeichnetes Nährsubstrat für zahlreiche Gärungsorganismen. Doch auch der Jungwein enthält noch zahlreiche, der Veränderung durch Mikroorganismen fähige Stoffe, und dies bedingt, daß viele Fehler und Krankheiten des Weines auf die Entwicklung von Mikroorganismen zurückzuführen sind, die dann weitgehende Veränderungen des Weines veranlassen und ihn schließlich ganz verderben und ungenießbar machen können.

Die Gärung des Weißweines verläuft im allgemeinen bei niederen Temperaturen, als die des Rotweines. Zu hohe Temperaturen begünstigen die Ansiedelung von schädlichen Mikroorganismen, besonders des Essigfermentes, zu tiefe verzögern dagegen die Gärung in unerwünschter Weise und beeinträchtigen die Reifung, die allerdings je nach der Sorte verschieden lange Zeit beansprucht.

Rotweine werden auf den Trestern vergoren, weil der Farbstoff nicht im Safte der Beere, sondern in den Bälgen enthalten ist und sich erst nach Maßgabe des bei der Gärung entstehenden Alkoholes löst. Eine Ausnahme bildet nur die „Färbertraube“, welche schon gefärbten Saft besitzt.

Nach der Hauptgärung, die je nach der Temperatur des Gärlokales etwa eine bis mehrere Wochen währt, macht der Wein noch eine Nachgärung durch, wobei sich auch das „Weingeläger“, bestehend aus Hefe, Weinstein, Farbstoffen 2c., abscheidet. Ferner müssen auch noch im Weine gelöste Eiweißkörper 2c. entfernt werden, um ihn „flaschenreif“ zu machen, dies geschieht durch wiederholtes Abziehen, dessen Wirkung im wesentlichen in der Lüftung des Weines besteht. Dadurch werden Eiweißstoffe abgeschieden, außerdem nimmt das Abziehen aber auch Einfluß auf die Bildung der Bukettstoffe,

die aller Wahrscheinlichkeit nach durch Oxydationsvorgänge entstehen. Überhaupt spielt die Einwirkung des Sauerstoffes auf den fertigen Wein eine große Rolle. Durch die Poren des Fasses dringt unausgesetzt Luft ein, die zwar langsam verlaufende, aber doch deutlich wahrnehmbare Veränderungen veranlaßt. Mit der Zeit verliert der Wein sein Bukett, er schmeckt schließlich „trocken“, ist „gezehrt“ und verliert all die lieblichen Eigenschaften, die er besitzen soll, wenn er „ausgebaut“ ist. Sehr alter Wein ist daher durchaus nicht, wie häufig angenommen wird, immer auch ein sehr guter Wein.

1. Anwendung von Reinhefen.

Wie erwähnt, spielt heute auch in der Weinbereitung die Anwendung von Reinhefen eine große Rolle. Allerdings ergeben sich im Vergleiche mit den anderen Gärungsgewerben hier manche Unterschiede, deren wesentlichster wohl darin liegt, daß es niemals möglich ist, die Reinhefe auch als solche in dem Umfange zu erhalten, wie in der Brennerei oder der Brauerei. Dies liegt darin, daß zunächst eine Sterilisierung des zu vergärenden Mostes ausgeschlossen ist. Diese könnte nur durch Pasteurisieren oder durch Aufkochen erreicht werden, doch wird dadurch sowohl die Zusammensetzung, wie der Geschmack des Mostes verändert, was sich auch dem Weine mitteilen würde.

Man muß bei der Verwendung von Reinhefen daher in der Weise verfahren, daß man eine reichliche Menge junger und kräftiger Hefe verwendet, die sich dann rasch vermehrt und imstande ist, die anderen Mikroorganismen zu unterdrücken. Dies wenigstens solange, bis ihre Entwicklung auch durch den sich bei der Gärung bildenden Alkohol niedergehalten wird. Nach dieser Richtung wirkt übrigens auch die Zusammensetzung des Mostes mit, indem viele Mikroorganismen, die sonst schädlich wirken würden, in der sauren Flüssigkeit nicht aufzukommen vermögen.

Die Auswahl der Heferasse, die in Reinzucht weitergeführt werden soll, geschieht für die Zwecke der Weinbereitung im allgemeinen unter den gleichen Gesichtspunkten, wie wir

sie schon besprochen haben. Doch ist zu beachten, daß wir es hier noch weit mehr als bei den anderen Gärungsgewerben mit spezifischen Rassen zu tun haben. Es wäre daher unrichtig, eine bestimmte Hefe aus einem Weinbaugebiete, die dort vorzügliche Ergebnisse liefert, zu beziehen und in der Erwartung zu verwenden, nun mit ihrer Hilfe Wein mit genau den gleichen Eigenschaften zu erzielen, wie dort. Diese Voraussetzung hat sich als unrichtig erwiesen, wenn auch nicht verkannt werden darf, daß ein gewisser und sogar ziemlich enger Zusammenhang zwischen der Hefe und den Bukettstoffen besteht.

Ein weiterer Unterschied wird auch durch das Anpassungsvermögen der verwendeten Hefe an den Alkohol bedingt. Da der Alkoholgehalt der Weine in ziemlich weiten Grenzen schwankt, ist auch nicht jede Hefe gleich gut geeignet. Weine, die aus zuckerreichen Mosten erzeugt werden und sich durch hohen Alkoholgehalt auszeichnen müssen, bedürfen unbedingt einer anderen Hefe als Weine mit geringem Alkoholgehalt, und das gleiche gilt, wie W. Seifert gezeigt hat, auch und ganz besonders für Süßwein.

Wenn nun auch — im allgemeinen — die Verwendung von Reinhefen zur Weinbereitung nicht alle jene Vorteile und Umwälzungen gebracht hat, die man, zumeist gestützt auf Gärversuche im kleinen und allerkleinsten Maßstabe, erwartete, so ist doch nicht zu verkennen, daß sie auch hier berufen ist, eine höchst bedeutsame Rolle zu spielen. Ihr Vorteil liegt vor allem darin, daß die mit Reinhefen vergorenen Weine meist haltbarer und reintöniger sind als die durch Selbstgärung gewonnenen und daß der Ausbau solcher Weine rascher vonstatten geht.

Wie erwähnt, muß bei Verwendung von Reinhefe dafür gesorgt werden, daß sie sich rasch und kräftig zu entwickeln vermag. Dies wird einerseits durch entsprechend reichlichen Hefezusatz, anderseits durch Vermehrung und Kräftigung der Weinhefe erzielt. Man muß mit einem Worte den Verlauf der Gärung so einzurichten trachten, daß die Reinhefe dauernd die Oberhand behält.

Nach Versuchen von Wortmann wird dies erreicht,

wenn man zu kleineren Mosten, das sind solche, deren Zuckergehalt etwa 18 bis 20 Prozent beträgt, etwa $^1/_4$ bis $^1/_2$ Prozent Hefe zufügt. Man versteht darunter, daß man zu je 100 Liter des frischen Mostes $^1/_4$ bis $^1/_2$ Liter eines mit Reinhefe in lebhafte Gärung versetzten Mostes zugibt. Eine Vermehrung des Hefezusatzes über 1 Prozent ist jedoch nicht angezeigt, weil dadurch der Charakter des Weines ungünstig beeinflußt wird. Anders verhalten sich schwere, d. h. zuckerreichere Moste, hier kann der Hefezusatz mit 1 Prozent und mehr bemessen werden, ohne Nachteile befürchten zu müssen.

Dem angewendeten Hefequantum muß auch die Temperatur, bei der die Gärung verläuft, entsprechen. Weil eine sehr große Menge physiologisch kräftiger Hefe eingeführt wird und dieser ein vortreffliches Nährsubstrat zur Verfügung steht, ist die Anwendung niederer Temperaturen als sonst üblich unbedingt zu empfehlen, weil sonst die Gärung zu lebhaft und stürmisch verläuft.

Von den Hefereinzuchtanstalten für die Zwecke der Weinbereitung (Klosterneuburg, Geisenheim ꝛc.) wird die Hefe im dünnflüssigen Zustande abgegeben; sie wird folgendermaßen verwendet: Die Flasche mit der Reinkultur darf nicht mehr wie höchstens 2 Wochen alt sein. Einige Tage vor dem Beginne der Weinlese lasse man etwa 12 Liter frisch gewonnenen, noch nicht gärenden Mostes, der aus vollkommen reifen und gesunden Trauben bereitet wurde, etwa 5 Minuten lang kochen, worauf man ihn in einem gut schließenden Gefäße bis auf Zimmertemperatur erkalten läßt. Dann wird der Inhalt des die Reinkultur enthaltenden Fläschchens in den Most gegossen, das Fläschchen wiederholt mit Most ausgespült und die Hefe im Moste gut verteilt. Ist dies geschehen, so bleibt das Gefäß wohl bedeckt bei Zimmertemperatur stehen, bis stürmische Gärung eingetreten ist. Dieser Most dient dann zum Anstellen des zu vergärenden Mostes, der natürlich keine weitere Vorbehandlung erfährt.

Fast noch wichtiger als für die Weinbereitung ist die Verwendung von Reinhefen in der Schaumweinfabrikation. Hier wird in dem auf Flaschen gefüllten Wein, nachdem er einen Zuckerzusatz erhalten hat, neuerlich eine Gärung hervor-

gerufen, um die das Moussieren bedingende Kohlensäure zu erzeugen. Die sich während dieser Gärung bildende Hefe muß dann durch einen Kunstgriff, das „Degorgieren", entfernt werden. Zu diesem Zwecke werden die Flaschen auf die Korke gestellt, auf denen sich die Hefe ablagert. Der Degorgeur entfernt dann den Kork mit der Hefe, schleudert eine geringe Menge des Weines aus dem Flaschenhals ab und verschließt die Flasche neuerdings. Der Vorgang muß sehr rasch geschehen, damit nicht zu viel Kohlensäure entweicht, anderseits hängt es sehr von seiner Geschicklichkeit ab, alle Hefe zu entfernen.

Die Fähigkeit der Hefe, sich zusammenzuballen und fest abzusetzen, ist nun eine Eigenschaft, die im hohen Grade von der Rasse abhängt, und es ist daher begreiflich, daß gerade die Züchtung von Reinhefen für die Zwecke der Schaumweinfabrikation große Erfolge zeitigte.

Erwähnt sei, daß auch für die Darstellung von Obstwein heute Reinhefen mit großem Erfolge verwendet werden.

2. Krankheiten des Weines.

Der Wein unterliegt sehr leicht der Einwirkung von Mikroorganismen, welche dann durch ihre Lebenstätigkeit weitgehende Veränderungen hervorzurufen vermögen. Diese Veränderungen bedingen Erscheinungen, welche das Verderben des Weines im Gefolge haben, sie können sowohl das Aussehen und die Farbe, wie auch den Geruch und den Geschmack betreffen. Wie erwähnt, sind die Ursachen der Krankheiten des Weines stets Mikroorganismen, und dies hat zur Folge, daß sich die Krankheitserscheinungen nach und nach ausbilden und immer weiter fortschreiten, sofern nicht durch entsprechende Behandlung, wie durch Pasteurisieren oder durch Verwendung desinfizierend wirkender Stoffe, für ihre Vernichtung gesorgt wird. Doch auch dann sind die Stoffe, welche Geschmack und Geruch des Weines beeinflussen, vorhanden und nur sehr selten ist es möglich, die Folgen der Erkrankung zu beheben.

Die eigentlichen Ursachen der Weinkrankheiten sind stets entweder in fehlerhafter Behandlung des Weines im Keller oder in der Verwendung schlechter Trauben zu suchen. In

beiden Fällen gelangen Mikroorganismen in den Wein, die dort einen ihnen zusagenden Nährboden und passende Lebensbedingungen finden und nun nach verschiedenen Richtungen schädlich wirken, indem sie beispielsweise den Alkohol zu Essigsäure oxydieren, Milchsäure bilden, das Bitterwerden veranlassen usf. Sehr vielen, ja den meisten Erkrankungen des Weines kann schon durch sachgemäße Behandlung im Keller vorgebeugt werden. Hauptbedingung ist auch hier die größte Reinlichkeit und zu diesem Zwecke die Verwendung desinfizierender Stoffe. Das für die Kellerbehandlung wichtigste desinfizierende Mittel ist die schwefelige Säure, die durch Verbrennen von Schwefel in den Fässern erzeugt wird. Sie vernichtet sicher alle dort befindlichen Keime und besitzt den Vorzug, daß sie nicht im Wein als solche enthalten bleibt, sondern bald Veränderungen unterliegt, die — sofern keine allzu große Menge vorhanden war — zur Entstehung unschädlicher Verbindungen führen.

Die wichtigsten, durch Mikroorganismen hervorgerufenen Krankheiten des Weines sind die Kahmbildung, der Essigstich, die Milchsäurebildung, das Umschlagen, das Zähewerden und das Bitterwerden. Während die Kahmbildung durch eine Hefeart verursacht wird, bewirken Bakterien die anderen Erkrankungen.

Die Kahmbildung.

Die Kahmbildung zeigt sich als ein weißes Häutchen an der Oberfläche des Weines, die sich sehr rasch dann einstellt, wenn nicht ganz gefüllte Flaschen aufrecht an einem warmen Ort aufbewahrt werden oder wenn Fässer nicht spundvoll gehalten sind. Die Häutchen nehmen dann rasch an Dicke zu und überziehen gleichmäßig die Oberfläche der Flüssigkeit, besonders wenn diese nicht erschüttert wird. Hat die Decke eine gewisse Dicke erreicht, so lösen sich Teile in größeren Stücken ab und sinken zu Boden.

Der Erreger dieser Weinkrankheit gehört zur Gattung der Sproßhefen, Mycoderma, die sich durch mangelndes Gärvermögen, dagegen durch hohes Sauerstoffbedürfnis auszeichnen. Wenn nur diese Art — und nicht, wie es allerdings

häufig der Fall ist, gleichzeitig ein Essigpilz — auftritt, so wird freie Essigsäure nicht gebildet, dagegen nimmt der Alkoholgehalt und ferner auch der Säuregehalt des Weines rasch ab und er erhält einen faden, unangenehmen Geschmack.

Besonders jüngere Weine unterliegen sehr leicht dem Verderben durch die Entwicklung des Kahmpilzes, hauptsächlich dann, wenn sie gleichzeitig auch verhältnismäßig wenig Alkohol enthalten. Jüngere Weine zeichnen sich stets durch den verhältnismäßig hohen Gehalt an Eiweißstoffen aus, welcher der Kahmpilz zu seiner Ernährung benötigt, sie werden daher sehr leicht von ihm befallen, sofern man die Fässer nicht sorgsam spundvoll hält und regelmäßig, in Zwischenräumen von wenigen Tagen, auffüllt.

Wird dann der Wein älter und inzwischen wiederholt abgezogen, so verringern sich die Eiweißstoffe und damit tritt auch die Gefahr der Entwicklung des Kahmpilzes zurück. Allerdings nimmt damit die Gefahr der Ansiedlung von Essigbakterien zu, weil durch die Verminderung des Alkohol- und Säuregehaltes der Boden für ihre Entwicklung günstig vorbereitet wird.

Weine mit höherem Alkoholgehalt unterliegen nicht so leicht, solche mit sehr viel Alkohol sogar fast gar nicht der Erkrankung durch den Kahmpilz, so daß höherer Alkoholgehalt einen gewissen Schutz dagegen verleiht.

Die Kahmbildung ist zwar eine sehr lästige und unangenehme und in ihren weiteren Folgen auch sehr verderbliche Erkrankung des Weines, sie läßt sich jedoch verhältnismäßig leicht verhüten und selbst im Anfangsstadium noch mit vollem Erfolge bekämpfen. Zur Verhütung ist das sorgsame Nachfüllen der Fässer und Spundvollhalten unerläßlich und dies um so mehr, als dadurch auch gleichzeitig der Entwicklung des Essigpilzes entgegengearbeitet wird. Doch auch Flaschenweine können vom Kahmpilze befallen werden, sofern die Flaschen schlecht verschlossen sind und der Stöpsel durch Austrocknung schrumpft. Weinflaschen sollen daher stets liegend aufbewahrt werden, derart, daß der Wein den Stöpsel berührt.

Ist Wein in einem Fasse kahmig geworden, so kann man dem Fortschreiten der Erkrankung, sofern sie noch nicht

allzu sehr um sich gegriffen hat, dadurch vorbeugen, daß man durch das Spundloch einen langen Trichter einführt, der bis unter die Oberfläche des Weines reicht, und nun langsam Wein nachfüllt, wobei gleichzeitig an die Wandungen des Fasses leicht geklopft wird. Die Kahmhaut steigt dann empor und läuft mit dem überfließenden Wein ab. Um ganz sicher zu gehen, kann man auch zum Auffüllen starken, reinen Alkohol verwenden, der jedoch langsam zugegossen wird, so daß er sich auf der Oberfläche der Flüssigkeit verteilt. Endlich wäre, sofern die Kahmbildung schon stark um sich gegriffen hat, auch das Abziehen des Weines in ein schwach geschwefeltes Faß anzuwenden. Durch diese Hilfsmittel gelingt es leicht, die Kahmbildung zu bekämpfen, beziehungsweise sie ganz zu verhüten. Das wichtigste Vorbeugungsmittel ist unter allen Umständen das Spundvollhalten der Fässer.

Der Essigstich.

Eine sehr unangenehme Erkrankung des Weines, die sich besonders in wärmeren Gegenden und in den Sommermonaten einstellt, ist der Essigstich. Er beruht auf der Bildung von Essigsäure aus dem Alkohol des Weines und wird durch Essigbakterien hervorgerufen, die ebenfalls im Wein einen vortrefflichen Nährboden finden. Da die Essigbakterien aerob sind, siedeln sie sich an der Oberfläche des Weines an, wo sie einen zunächst ganz dünnen, leichten Schleier bilden. Besonders durch reichlichen Luftzutritt und höhere Temperaturen wird die Entwicklung des Essigpilzes befördert, und darauf, sowie dadurch, daß man dem Wein eine große Oberfläche erteilt, um die Berührung mit Luft zu begünstigen, beruht die Fabrikation des Weinessigs.

Gegen bedeutenden Alkoholgehalt sind die Essigpilze empfindlich, doch weniger als die Kahmhefe. Weine mit 15 bis 16 Volumprozent Alkohol werden nur selten essigstichig, dagegen unterliegen schwächere und jüngere Weine, besonders Rotweine sehr leicht dieser Erkrankung. Sie ist um so gefährlicher, weil schon ganz geringe Mengen Essigsäure hinreichen, den Geschmack und überhaupt den Charakter des Weines zu verändern und ihn zu verderben. Zwar enthält

jeder Wein ganz geringe Mengen Essigsäure, etwa 0·1 bis 0·4 Promille, steigt der Gehalt an Essigsäure jedoch auf 0·7 bis 0·8 Promille, so nimmt der Wein schon einen scharfen Geschmack an, bei 1·2 bis 1·3 Promille tritt der Stich schon deutlich hervor. Allerdings sind diese Zahlen nicht unter allen Verhältnissen zutreffend, weil auch der allgemeine Charakter des Weines den Stich bald verdeckt, bald schon im Anfangsstadium deutlich hervortreten läßt. Besonders in süßen und alkoholreichen Dessertweinen vermag selbst ein höherer Gehalt an Essigsäure nicht so rasch zur Geltung zu kommen, wie in extraktarmen und schwachen.

Durch zweckmäßige Bekämpfungsmittel, besonders durch Pasteurisieren, kann zwar der Essigpilz vernichtet und dadurch dem weiteren Umsichgreifen der Krankheit Einhalt geboten werden, doch ist es kaum möglich, die schon im Weine vorhandene Essigsäure zu entfernen. Man tut daher am besten, Wein, welcher essigstichig geworden ist, sobald als möglich zu konsumieren. Sind jedoch schon größere Mengen Essigsäure entstanden, so bleibt wohl nichts anderes übrig, als solchen Wein ganz zu Essig zu verarbeiten.

Der Milchsäurestich.

Milchsäure ist zwar ein normaler Bestandteil fast jeden Weines, doch kann die Bildung größerer Mengen Milchsäure auch als Krankheitserscheinung auftreten. Die Entwicklung von Milchsäure- und wohl auch von Buttersäurebakterien tritt jedoch nur verhältnismäßig selten und dann ein, wenn ihr durch sehr große Unreinlichkeit Vorschub geleistet wird. Auch durch Verwendung mit Erde beschmutzter Trauben können Milch- und Buttersäurebakterien in den Most gelangen. Größere Mengen Milchsäure verleihen dem Wein einen höchst unangenehmen, fremdartigen und widerlichen Geschmack, und wenn das Übel nur einigermaßen um sich gegriffen hat, so ist solcher Wein unbedingt verdorben und ungenießbar.

Das Umschlagen.

Das Umschlagen ist eine ebenfalls durch Bakterien verursachte Erkrankung des Weines, doch wird sie — im Gegen-

satze zum Stichigwerden und anderen Krankheiten — wohl nicht durch einen Organismus, sondern allem Anscheine nach durch eine Anzahl solcher verursacht. Dies geht wohl auch daraus hervor, daß mit dem „Umschlagen“ eine tiefgreifende Veränderung des Weines verbunden ist, wobei er schließlich ganz den Weincharakter verliert. Es stellt sich ein höchst widerlicher Geruch und Geschmack ein, Weißweine werden braun, der Farbstoff der Rotweine wird zerstört, der erkrankte Wein trübt sich und kann auch durch wiederholte Filtration nicht mehr geklärt werden — kurz, es treten zahlreiche Zersetzungserscheinungen ein, die bald zum völligen Verderben des Weines führen.

Verfolgt man die chemischen Veränderungen, die mit dem „Umschlagen“ verbunden sind, so ergibt sich zunächst, daß es mit einer Abnahme der Säure Hand in Hand geht. Doch nicht nur die freien Säuren werden davon betroffen, sondern auch der Weinstein (saures weinsaures Kali) wird zersetzt. Außerdem ist stets die Bildung flüchtiger Fettsäuren nachweisbar, und zwar soll neben Ameisensäure und Essigsäure auch Buttersäure und Propionsäure, ja selbst noch höhere Glieder der Fettsäurereihe, wie Kapronsäure, entstehen.

Auch das Auftreten dieser Krankheit ist auf falsche Behandlung des Weines und auf Unsauberkeit zurückzuführen. Besonders leicht verfällt der Wein dem Umschlagen, wenn er längere Zeit auf dem Geläger liegen bleibt. Die tote Hefe geht dann bald in Zersetzung über und dadurch wird der Entwicklung anderer Mikroorganismen vorgearbeitet. Doch auch durch fehlerhafte Gärung kann das Umschlagen begünstigt werden. Wird z. B. durch zu starkes Ansteigen der Temperatur des gärenden Mostes die Hefe geschwächt oder getötet, so wird dadurch auch die Ansiedlung anderer Mikroorganismen gefördert.

Die erfolgreiche Bekämpfung des Umschlagens ist nur dann möglich, wenn sich die Krankheit noch im Anfangsstadium befindet. Dann gelingt es, durch sehr starkes Schwefeln des Weines die Bakterien zu töten, allerdings leidet dadurch, besonders bei Rotweinen, auch die Farbe. Weit sicherer ist

es jedoch, den Wein zu pasteurisieren und besonders dann, wenn sich eben die ersten Anzeichen des Umschlagens zu zeigen beginnen, gelingt es, der Krankheit vollkommen Herr zu werden. Muß man noch nicht ganz ausgegorene Weine dem Pasteurisieren unterwerfen, so kann nachher durch Hefezusatz die unterbrochene Gärung wieder eingeleitet werden.

Da, wie erwähnt, das Umschlagen auch mit Säureabnahme und Zersetzung des Weinsteines verbunden ist, so kann zur Geschmacksverbesserung ein geringer Zusatz von Weinsäure, etwa 100 bis 200 Gramm pro 1 Hektoliter, angezeigt sein. Weine, deren Farbe gelitten hat, wären durch angemessenes Verschneiden zu korrigieren.

Hat die Krankheit dagegen schon weitere Fortschritte gemacht und ist der Wein untrinkbar geworden, so gibt es kein Mittel, ihn wieder genießbar zu machen. Er kann dann nur mehr zur Alkoholgewinnung benutzt werden.

Als Vorbeugungsmittel haben größte Reinlichkeit, Verwendung nur gesunder Trauben, eventuell Pasteurisieren des Mostes und schließlich regelmäßiges Abziehen des Weines zu gelten. Wein, der zu lange auf dem Geläger liegen bleibt, ist stets der Gefahr des Umschlagens ausgesetzt.

Das Zähewerden.

Diese Krankheit befällt fast ausschließlich nur Weißweine und äußert sich dadurch, daß der Wein trübe und dickflüssig wird und gleichzeitig einen faden, schleimigen Geschmack annimmt. Weine mit höherem Gehalt an Alkohol und an Gerbsäure verfallen weit weniger leicht dem Zähewerden als schwächere, tanninärmere Weine. Man kann der Erkrankung daher dadurch vorbeugen, daß man durch Verschnitt oder Zusatz von Zucker, beziehungsweise Alkohol auf einen höheren Alkoholgehalt hinarbeitet.

Als Erreger der Krankheit müssen wir nach den Untersuchungen von Pasteur u. a. Bakterienarten ansehen, welche in hohem Grade anaerob sind. Ein Mittel zu ihrer Bekämpfung besteht daher im wiederholten Abziehen des Weines, wobei man ihn mit Luft zu mischen trachtet, dies geschieht

beispielsweise dadurch, daß man ihn in zahlreichen dünnen Strahlen aus einer Brause fließen läßt. Ferner ist auf vollständige Vergärung zu sehen, weil auch die Anwesenheit von Zucker die Entwicklung der das Zähewerden veranlassenden Bakterien begünstigt. Auch diese Krankheit wird vor allem durch Unreinlichkeit und falsche Kellerwirtschaft begünstigt.

Das Bitterwerden.

Das Bitterwerden ist eine Krankheit, welche meist erst ältere Weine befällt und sich dann nur langsam entwickelt. Zunächst nimmt der Wein einen eigentümlichen Geruch an, die Farbe tritt zurück und dadurch, daß sich der Säuregehalt verringert, schmeckt der Wein eigentümlich süßlich. Später tritt dann deutlich der bittere Geschmack auf, der rasch zunimmt, bis der Wein endlich ganz verändert und zerstört ist, wobei auch der Farbstoff und der Weinstein zersetzt wird.

Nach B. Haas wird der Bitterstoff, der möglicherweise Gallussäure ist, leicht durch Oxydationsmittel, wie Wasserstoffsuperoxyd oder Kaliumpermanganat, zerstört, allerdings wird durch Verwendung solcher Mittel auch der Wein überhaupt ungünstig verändert, so daß er höchstens noch durch darauffolgenden Verschnitt brauchbar wird. Als bestes Mittel empfiehlt Haas dem Wein so viel Alkohol zuzusetzen, daß der Alkoholgehalt mindestens 13 Volumprozent beträgt, und ihn dann stark, etwa 2 Stunden, unter Verwendung der Mostpeitsche zu lüften, dadurch soll sich der bittere Geschmack vollkommen verlieren. Der Alkoholzusatz hat vor allem den Zweck, das durch das kräftige Lüften begünstigte Auftreten des Essigstiches zu verhüten.

IX. Abschnitt.

Die Hefe und Schlempe als Futtermittel.

Dort, wo sich für die Hefe der Brauereien keine andere Verwertung ergibt, ist es am zweckmäßigsten, sie zu verfüttern. Wie wir wissen, ist die Hefe reich an stickstoffhaltigen Bestandteilen und anderen, für die Ernährung wichtigen Stoffen, bei richtiger Behandlung vermag sie daher ein wertvolles Nebenfuttermittel zu bilden.

Im Mittel zahlreicher Untersuchungen enthält frische Bierhefe:

	Prozent
Trockensubstanz	15·0
Stickstoffhaltige Stoffe . .	9·0
Rohfett	0·3
Stickstofffreie Stoffe . . .	4·8
Asche	0·9

Ein Nachteil liegt in ihrem sehr bedeutenden Wassergehalte, den man allerdings durch Abpressen verringern kann, doch immer nur bis zu einem gewissen Grade, weil die Hefezellen das Wasser hartnäckig festhalten. Man hat daher auch versucht, durch Anwendung künstlicher Wärme Trockenhefe herzustellen, die nur rund 10 Prozent Wasser enthält. Solche Trockenhefe besitzt nach E. Pott folgende Zusammensetzung:

54·0	bis	56·3	Prozent	stickstoffhaltige Stoffe,
1·3	„	6·0	„	Rohfett,
24·0	„	24·6	„	stickstofffreie Extraktstoffe,
6·0	„	8·0	„	Asche.

Ihrer Zusammensetzung nach ist somit die Bierhefe wohl als Futtermittel zu verwenden, doch muß sie vorher entsprechend zubereitet werden. Die Zubereitung umfaßt einerseits Maßnahmen, durch die der bittere Geschmack beseitigt oder verdeckt wird, anderseits die Tötung der lebenden Zellen.

Zur Entbitterung könnte man die Hefe mit alkalischen Lösungen, etwa mit 1- bis 2prozentiger Sodalösung oder einer gleich starken Lösung von kohlensaurem Ammon behandeln, indem man sie in der Flüssigkeit anrührt und dann absitzen läßt. Das Alkali löst das beigemengte, bitter schmeckende Hopfenharz, die obenstehende braungefärbte Flüssigkeit wird abgegossen und der Vorgang einige Male wiederholt. Dann wäscht man die entbitterte Hefe nochmals mit salzsäurehaltigem Wasser, um das Alkali zu neutralisieren. Auch durch wiederholtes Waschen mit reinem Wasser lassen sich die Bitterstoffe entfernen.

Die Behandlung der Hefe mit größeren Flüssigkeitsmengen hat jedoch den Übelstand im Gefolge, daß ihr Nährstoffe entzogen werden. Man verfährt daher weit besser so, daß man die Hefe nicht wäscht, sondern nur durch Kochen oder Dämpfen tötet, wobei ebenfalls ein Teil der Bitterstoffe entfernt wird, und dann die noch immer bitter schmeckende Hefe mit anderen passenden Futtermitteln vermengt. Diese Futtermittel müssen so gewählt sein, daß sie den bitteren Geschmack der Hefe zu verdecken vermögen.

Es ist unbedingt nötig, daß die Hefe vor der Verfütterung durch Kochen oder Dämpfen getötet wird. Gelangen lebende Hefezellen in den Magen der Tiere, so könnten sie hier immer noch gärend wirken, wodurch nicht nur eine schlechte Ausnutzung der Nahrung bedingt, sondern auch die Gesundheit und das Leben der Tiere gefährdet würde. Durch Kochen oder Dämpfen getötete Hefe ist dagegen völlig gefahrlos, dies geht auch schon daraus hervor, daß selbst sehr bedeutende Mengen Brennereischlempe, die ebenfalls pro 100 Liter etwa 2 bis 3 Kilogramm Hefe enthält, anstandslos verfüttert werden können.

Das Abkochen der Hefe geschieht am besten in hölzernen Bottichen, in die man Dampf leitet. Durch Anwendung ge-

spannten Dampfes läßt sich die Temperatur leicht auf etwa 110° steigern, wodurch dann nicht nur die Hefe, sondern auch ihr etwa beigemengte Bakterien vernichtet werden. Solche gedämpfte Hefe kann auch, ohne nachteiligen Veränderungen zu unterliegen, einige Tage aufbewahrt werden, sofern man das Gefäß, in dem sie gedämpft wurde, verschlossen stehen läßt.

Die Hefe unterliegt im frischen Zustande sehr leicht dem Verderben und dann bilden sich Stoffe, welche starke giftige Wirkungen äußern. Man muß daher strenge darauf sehen, nur wirklich frische und gesunde, nicht etwa faulige Hefe als Futtermittel zu verwenden. Ist die Hefe in Zersetzung übergegangen, dann vermag auch anhaltendes Kochen oder Dämpfen die Giftstoffe nicht zu zerstören. Solche Hefe ist daher unbedingt von der Verfütterung auszuschließen.

Die in größter Menge vorhandenen Bestandteile der Hefe sind stickstoffhaltige Stoffe, wir müssen die Hefe daher vor allem als stickstoffhaltiges Futtermittel betrachten. Ganz besonders eignet sie sich zur Verfütterung an Schweine, denen man sie am besten im Gemenge mit Kartoffeln oder Spreu verabreicht. Doch auch an Mastrinder und Milchkühe kann sie in Mengen bis zu 1 Kilogramm pro Tag und 100 Kilogramm Lebendgewicht verabreicht werden.

Sollen große Hefemengen als Futtermittel verwertet, beziehungsweise für diesen Zweck verkauft werden, so ist es unbedingt nötig, sie entsprechend zu konservieren, beziehungsweise in ein Dauerpräparat überzuführen. Dies gelingt am leichtesten, indem man die abgepreßte Hefe trocknet, wozu ähnliche Apparate wie zur Herstellung der Trockenkartoffel benutzt werden können. Diese Vorrichtungen bestehen im wesentlichen aus hohlen, glatten Walzen, die mit Dampf geheizt werden. Die zu trocknende Hefe fließt in Form eines Breies auf die Walzen und die dünne Schicht trocknet schon bei weniger als einer Umdrehung vollständig aus, worauf sie von Streichklingen abgenommen wird. Die Zusammensetzung solcher „Trockenhefe“ wurde oben mitgeteilt.

Pott empfiehlt zur Herstellung eines Dauerpräparates die Bereitung von Hefekuchen. Zu diesem Zwecke wird die frische Hefe zunächst gekocht oder gedämpft, dann gelinde

ausgepreßt und hierauf mit so großen Mengen eines stärkemehlreichen und womöglich auch fetthaltigen Materials, wie Reisfuttermehl, Maisschrot, Kastanienmehl usf. vermengt, daß ein formbarer Teig entsteht, aus welchem Futterkuchen oder Zwieback hergestellt wird. Solcher Hefezwieback oder Bierhefekuchen ist gut haltbar, leicht transportierbar und als konzentriertes Futtermittel für Wiederkäuer und Schweine gut geeignet. Das Trocknen kann durch Verwendung holzfaserhaltiger Materialien, wie Strohhäcksel, wesentlich beschleunigt werden, solche Hefekuchen sind dann auch zur Verfütterung an Pferde geeignet und können teilweise zum Ersatze der Körnerration dienen.

Die wissenschaftliche Station für Brauerei in München hat die zweckmäßigste Verwertung der Hefe als Futtermittel ebenfalls eingehend studiert, ihr verdanken wir das folgende vortreffliche, unter D. R. P. Nr. 174864 patentierte „Verfahren zur Herstellung eines haltbaren Trockenfutters aus Hefe".

Es kann jede Hefe verarbeitet werden, ist sie jedoch stark mit Hopfenharz verunreinigt, so ist es angezeigt, sie zu waschen und zu sieben. Sie wird dann in einer gewöhnlichen Hefepresse nach Möglichkeit gut entwässert und mit Hopfen, Strohhäcksel und Viehsalz vermengt. Der Hopfen wird dem Hopfenseiher entnommen, in der Presse möglichst stark entwässert und getrocknet, im getrockneten Zustande läßt er sich ohne Veränderung aufbewahren. Das Stroh wird gehäckselt, die einzelnen Stückchen sollen ungefähr 2 Zentimeter lang sein. Empfehlenswert ist das folgende Mischungsverhältnis:

Hefe	1000
Hopfen	250—300
Stroh	10— 15
Salz	20

Zuerst wird die Hefe nur mit dem Salz in einem passenden Gefäße innig vermischt, bis sie dickbreiig wird, und dann kurze Zeit stehen gelassen. Inzwischen mischt man in einem anderen Gefäße Hopfen und Häcksel. Man erwärmt darauf die Hefe unter Umrühren auf 75 bis 80°, die

flüssig gewordene Masse gibt man alsbald zu dem Hopfen und Häcksel und mischt gut durch, worauf man die Mischung 1 Stunde stehen läßt.

Zum Formen und Pressen kann man sich einfacher Spindelpressen bedienen, denn es ist nur ein geringer Druck erforderlich. Den Preßblock bedeckt man mit Leinwand, auf welche man die aus einem hölzernen Rahmen bestehende Form stellt. Auf den Boden der Form und auf die Füllung streut man Malzkeime, wodurch das Ankleben der Kuchen an die Tücher verhindert wird. Die Füllung der Form wird mit einem Tuche bedeckt, der Preßdeckel darauf gelegt und nun mäßig angezogen; die Kuchen sollen etwa 2 Zentimeter dick werden. Man läßt nun einen Moment unter Druck stehen und hebt dann die Kuchen aus, um sie sofort zu trocknen.

Das Trocknen nimmt man in einer mit Abdampf geheizten Trockenkammer auf Holzgestellen vor, es soll bei rund 80° nach Möglichkeit rasch ausgeführt werden. Für die Gewinnung guter, bekömmlicher Kuchen ist es wesentlich, daß die Stoffe stets frisch verarbeitet und gut getrocknet werden.

Ein anderes Verfahren besteht darin, daß man gleiche Teile abgepreßter Hefe und Gerste vermengt, das Verhältnis wird je nach dem Wassergehalte der Hefe abgeändert. Man benutzt grob geschrotene Futtergerste, die Vorbereitung der Hefe, das Mischen und Pressen geschieht wie oben beschrieben. Vor dem Pressen läßt man die Mischung kurze Zeit stehen, damit sich die Gerste mit der Hefe gut verbindet. Ebenso bleiben die Kuchen vor dem Trocknen einige Zeit liegen, bis sie etwas angezogen haben, dann werden sie rasch getrocknet.

Die Untersuchung solcher Gerste- und Hopfenhefekuchen ergab folgende Werte:

Gerstehefekuchen		Hopfenhefekuchen		
92·7	Prozent	81·7	Prozent	Trockensubstanz
19·7	"	30·8	"	stickstoffhaltige Stoffe, darin
14·1	"	25·9	"	Reineiweiß
1·7	"	2·8	"	Rohfett
63·6	"	33·7	"	stickstofffreie Extraktstoffe
3·5	"	14·2	"	Holzfaser
4·3	"	8·2	"	Asche

Bei Fütterungsversuchen, die E. Pott mit solchen Hopfenhefekuchen ausgeführt hat, verweigerten die Pferde deren Aufnahme, offenbar wegen ihres bitteren Geschmackes. Auch Kühe nahmen die Hopfenhefekuchen nur in entsprechenden Futtergemischen auf, befanden sich aber danach ausgezeichnet und ließen keine Abnahme ihrer Leistungsfähigkeit erkennen. Jungrinder verzehrten die Hopfenhefekuchen ungemischt nicht bloß anstandslos, sondern mit Gier. Bei anderen Versuchen mit Kuchen aus Hefe und Abfallgerste nahmen auch die Kühe die ihnen neuen Kuchen ohne weiteres gerne an und vertrugen sie bestens.

Pott ist der Anschauung, daß die Abfallhefe der Brauereien, in der beschriebenen Weise verarbeitet, sehr gut verwendbare, preiswürdige Handelsfuttermittel liefern würde. Gerste könnte auch neben Hopfen zur Herstellung solcher Hefekuchen verwendet werden, ebenso andere stärkereiche und fetthaltige Materialien, sowie etwas Melasse. Dann würde man schmackhaftere Futterkuchen von solcher Zusammensetzung erhalten, daß sie auch für Pferde einen billigen Körnerersatz zu bieten vermöchten. Anstatt Strohhäcksel könnte man auch Spreuabfälle oder geschrotene Maiskolben zumischen oder Maiskolben mit den Körnern schroten: man würde dadurch Kuchen erhalten, die auch sehr gut zur Fleischmast von Schweinen geeignet sein dürften.

Weinhefe wird gewöhnlich auf Tresterbranntwein verarbeitet, außerdem dient sie zur Gewinnung von Weinstein. Soll Weinhefe direkt verfüttert werden, so ist zu bedenken, daß sie sehr reich an Kaliumverbindungen, besonders an Weinstein ist. Die Kaliumverbindungen sind Herzgifte, das saure weinsaure Kalium bewirkt heftige Durchfälle, wenn es in größeren Mengen in den Organismus gelangt. Darauf wäre bei der unmittelbaren Verfütterung der Weinhefe, die natürlich auch vorher durch Kochen oder Dämpfen getötet werden müßte, Rücksicht zu nehmen.

Weit zweckmäßiger ist es, die Weinhefe vorher zur Darstellung von Gelägerbranntwein und Weinstein zu verwenden, wovon im nächsten Abschnitte die Rede sein wird. Die dann hinterbleibenden, zum größten Teile aus toten

Hefezellen bestehenden Rückstände könnten dagegen ebenso wie die Brauereihefe als Futtermittel dienen. Solche Rückstände wurden auch als „Weinhefekuchen" in den Handel gebracht, nach einer Untersuchung von J. Moser besaßen sie folgende Zusammensetzung:

46·0	Prozent	Trockensubstanz
7·5	„	stickstoffhaltige Stoffe
8·9	„	Rohfett
7·4	„	stickstofffreie Extraktstoffe
11·1	„	Rohfaser
1·8	„	Reinasche
9·2	„	Sand

Solche Rückstände werden in Weingegenden häufig an Milchkühe und Mastschweine verfüttert, doch müssen sie vor der Verwendung gekocht werden, um Schimmelpilze, die sich sehr leicht auf diesen Rückständen ansiedeln, zu töten.

Verfütterung der Schlempe.

Die nach der Gewinnung des Alkohols hinterbleibende Schlempe enthält mit Ausnahme der vergorenen Kohlehydrate alle Bestandteile der Rohstoffe und ist daher ein sehr wertvolles Futtermittel. Ihr Wert ist um so größer, als durch die Lebenstätigkeit der Hefe teilweise auch eine Umformung der stickstoffhaltigen Bestandteile stattfindet, derart, daß zur Ernährung minder geeignete stickstoffhaltige Verbindungen, wie Amide, zum Teile in Eiweißkörper übergeführt werden, die dann in der Hefe enthalten sind.

Allerdings ist die Schlempe ein so eigenartiges Futtermittel, daß sie eine Ausnahmsstellung einnimmt und bei ihrer Verfütterung verschiedene Momente beachtet werden müssen. Zunächst sei darauf verwiesen, daß die Zusammensetzung der Schlempen innerhalb sehr weiter Grenzen schwankt, je nach den Rohstoffen, die verarbeitet wurden. Kartoffelschlempen sind ärmer an Eiweißstoffen als Roggen- und überhaupt Getreideschlempen, doch ist auch in diesen der Eiweißgehalt gering, soferne die Hefe gewonnen wird. Ferner ist der sehr bedeutende Wassergehalt zu berücksichtigen, er beträgt un-

gefähr 88 bis 95 Prozent. Bei der Verabreichung eines so wasserreichen Futtermittels muß natürlich vorsichtig vorgegangen werden und jedenfalls ist darauf zu sehen, daß außer Schlempe nach Möglichkeit trockene und konzentrierte Futterstoffe gegeben werden.

Der hohe Wassergehalt der Schlempe führte auf den Gedanken, die Nährstoffe der Schlempe durch Trocknung zu konzentrieren und in ein haltbares und leicht versendbares Futtermittel umzuwandeln. Heute spielen solche getrocknete Schlempen auf dem Futtermittelmarkte eine wichtige Rolle, sie sind ein sehr wertvolles, weil eiweißreiches Futtermittel, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

	Kartoffelschlempe Prozent	Roggenschlempe Prozent	Maisschlempe Prozent
Wasser	10·0	10·0	10·0
Rohprotein	24·3	22·7	27·1
Darin Eiweiß	21·9	20·1	24·0
Fett	3·7	5·4	12·6
Stickstofffreie Stoffe	40·8	47·1	35·6
Rohfaser	9·5	8·9	9·1
Asche	11·7	5·9	5·6

Der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen, also an jener Menge von Rohprotein, Fett und stickstofffreien Extraktstoffen nebst Rohfaser, die im Tierkörper tatsächlich verarbeitet und ausgenutzt werden, beträgt im Mittel:

	Kartoffelschlempe Prozent	Roggenschlempe Prozent	Maisschlempe Prozent
Rohprotein	12·2	14·5	18·2
Fett	1·8	4·9	12·0
Stickstofffreie Extraktstoffe und Rohfaser	22·4	43·0	29·2

Werden frische Schlempen verfüttert, so sind jedoch noch zwei weitere Umstände zu berücksichtigen. Wegen ihres hohen Gehaltes an stickstoffhaltigen Stoffen und wegen des bedeutenden Wassergehaltes ist die Schlempe ein ausgezeichneter Nährboden für zahlreiche Mikroorganismen, die ihre Zer-

setzung veranlassen und zum Teile im Organismus des Tieres schädliche Stoffe produzieren könnten. Es ist daher darauf zu sehen, die Schlempe stets nach Möglichkeit frisch zu verfüttern und sie nur in reinen Gefäßen 2c. aufzubewahren, um Infektionen zu verhüten.

Ferner ist auf den hohen Gehalt der Schlempen an Milchsäure Rücksicht zu nehmen. Gelangt sie in zu großen Mengen in den Organismus, so kann sie schwere Schädigungen, Durchfälle, und schließlich auch die durch das Weichwerden der Knochen gekennzeichnete „Osteomalacie" verursachen, die auf Verarmung des Organismus an Kalk zurückzuführen ist. Diese Erkrankung wird jedoch bei rationeller Schlempefütterung und normal beschaffener Schlempe nur höchst selten beobachtet, weit häufiger ist dagegen die als „Schlempemauke" bekannte Erscheinung.

Die Schlempemauke ist eine Hautentzündung, die sich an den unteren Extremitäten der mit Schlempe ernährten Tiere einstellt und einen rotlaufartigen Charakter annimmt. Nach Eugling verläuft sie in den meisten Fällen oberflächlich in den äußeren Schichten des Hautgewebes und führt hier zu einer Ausschwitzung, welche die Epidermis abhebt und an haarlosen Stellen kleine Bläschen bildet. Das Serum, welches aussickert, trocknet zu einer braunen Kruste ein und verklebt mit dem Schmutze zu dicken Borken, welche sich häufig an den Fußenden der Kühe vorfinden. In schweren Fällen verläuft der Prozeß nicht so oberflächlich, sondern ergreift hier die ganze Dicke der Haut; diese schwillt nicht allein in der Dicke, sondern auch in der Breite an und legt sich in Falten. An jenen Stellen, wo die Haut ein kurzes Unterhautgewebe hat, ist eine Faltung schwer, ja unmöglich; infolgedessen sterben große Hautstellen ab und werden brandig. Dieses findet ganz besonders über den Klauen statt, dort, wo die Unterhaut sehr straff ist. Hier geht der Brand nicht allein durch das Hautgewebe hindurch auf die Unterhaut; er greift tiefer bis auf das Kapselband des Klauengelenkes und selbst bis an das Klauenbein. Bei den bösartigsten Fällen stirbt die unterste Haut an den Extremitäten und Kniegelenken ab, ohne daß es zu einer Ausschwitzung

und Borkenbildung kommt. Die Tiere gehen zuweilen an Herzlähmung zugrunde und man findet bei der Obduktion die ganze Haut an den Extremitäten bis in die Klauen nekrotisch, so daß der Brand bis in die Gelenke hineingeht.

Die eigentlichen Ursachen der Schlempemauke sind noch nicht bekannt, und es steht vor allem noch nicht fest, ob ihr Auftreten auf bestimmte Reizstoffe in der Schlempe selbst oder auf Mikroorganismen zurückzuführen ist, wie auch behauptet wird. Jedenfalls spricht zugunsten der ersten Anschauung die Tatsache, daß hauptsächlich Kartoffelschlempen die Mauke erzeugen und besonders dann, wenn die Schlempe von stärkereichen Kartoffeln stammt; Roggenschlempen erzeugen dagegen die Mauke nicht.

Nach Beobachtungen von van Calcar tritt die Schlempemauke besonders dann sehr heftig und regelmäßig auf, wenn die Maischen schlecht vergoren wurden, darunter ist zu verstehen, daß sich die Maische noch in Gärung befand, wenn sie in den Destillierapparat gelangt. Demnach würde ein vollständiger Verlauf der Gärung das Auftreten der Mauke zu verhindern imstande sein. Van Calcar hat jedoch auch beobachtet, daß die Schlempe besonders dann sehr schädlich wirkt, wenn die Maische im Destillierapparate sehr schnell und bei sehr niederem Drucke, somit auch bei niederer Temperatur abgetrieben wurde. Umgekehrt soll langes Kochen im Destillierapparate bei hoher Spannung und hoher Temperatur ein sicheres Mittel gegen das Auftreten dieser lästigen Krankheit bilden.

Diese Wahrnehmungen sind durch Beobachtungen in der Praxis bestätigt worden und Delbrück faßt die Mittel zur Beseitigung der Schlempemauke in folgende Sätze zusammen:

„Eine gute Vergärung und ein Abtreiben der Maischen in den Destillierapparaten, so daß sie lange und unter einem gewissen Druck ausgekocht werden, beseitigt nach allen vorliegenden Mitteilungen die Schlempemauke sicher. Wenn es undurchführbar ist, die Schlempe in den Destillierapparaten ordnungsmäßig auszukochen, so empfiehlt es sich, in den Montejus ein kleines Dampfrohr zu legen und die Schlempe dort, ehe sie in die Aufbewahrungsgefäße abgedrückt wird,

bei Druck nachträglich tüchtig durchzukochen. Wenn das Kochen im Montejus nicht angeht, muß man ein Dampfrohr in das Aufbewahrungsgefäß legen, was übrigens schon aus anderen Rücksichten zu empfehlen ist."

Melasseschlempen eignen sich wegen ihres hohen Gehaltes an Salzen nicht oder nur unter besonderen Vorsichtsmaßregeln zur Verfütterung. Sie werden am besten als Düngemittel benutzt. Die Schlempe wird zu diesem Zwecke nach dem patentierten Verfahren des Chilinitsyndikats zunächst auf 40 bis 42° Bé eingedampft und dann pro 100 Kilogramm frischer Schlempe mit 20 bis 25 Prozent roher Schwefelsäure von 60° Bé und 10 bis 15 Prozent kohlensaurem Kalk versetzt. Es ergeben sich dadurch 97 bis 102 Kilogramm eines früher „Chilinit" genannten Düngemittels, welches 3 bis 4 Prozent Wasser und nebst organischer Substanz folgende wertbestimmende Bestandteile enthält:

3·8	Prozent	Stickstoff
12·8	"	Kali
27·0	"	schwefelsauren Kalk (Gips).

Demnach ist solcher Melasseschlempedünger vorwiegend als Kalidünger aufzufassen, während der Stickstoff nicht in Form von Nitrat vorliegt und daher im Boden erst nitrifiziert werden muß. Versuche, welche Svoboda-Klagenfurt durchführte, lehrten, daß dieses Düngemittel dem Salpeter und den Kalisalzen durchaus nicht überlegen ist. Immerhin bildet es aber ein brauchbares Düngemittel, dessen Darstellung unter Umständen zweckmäßiger sein kann, als die Verarbeitung der Melasseschlempe zu Schlempekohle.

X. Abschnitt.

Die Darstellung von Nährpräparaten aus Hefe und die Hefe als Heilmittel.

Der ansehnliche Gehalt der Hefe an stickstoffhaltigen Stoffen wie nicht minder ihr Gehalt an Enzymen, sowie die Fähigkeit der Hefe, sich mittels des Enzymes „Endotryptase" selbst zu verdauen (siehe S. 183) führten auf den Gedanken, sie zur Darstellung von Nährpräparaten und fleischextraktähnlichen Flüssigkeiten zu verwenden. Die Verfahren, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, sind verschiedenartig und bislang haben sich alle diese Präparate auch noch kein besonders großes Absatzgebiet zu erobern vermocht. Die Fleischextraktsurrogate unterscheiden sich von dem nach dem Liebigschen Verfahren dargestellten Präparate natürlich in ihrer Zusammensetzung sehr wesentlich, so vor allem dadurch, daß sie nicht die auf das Nervensystem anregend wirkenden Stoffe Kreatin und Kreatinin enthalten, ferner ist auch die Zusammensetzung der Salze eine andere.

Wir wollen nun einige solcher Verfahren, welche die Verarbeitung der Hefe nach der angedeuteten Richtung bezwecken, kurz besprechen.

Nach L. Aubry sind in den Hefenzellen Eiweißstoffe enthalten, welche dem Geschmacke nach große Ähnlichkeit mit jenen besitzen, die im Fleischsafte vorhanden sind und beim Eindampfen ihrer Lösung einen an Fleischextrakt erinnernden Geruch verbreiten. Nach dem folgenden Verfahren werden diese wohlschmeckenden und nahrhaften Bestandteile auf

osmotischem Wege, ohne künstliche Verdauung, die den Wohlgeschmack des Präparates beeinträchtigt, aus der Hefe herausgeholt. Zu diesem Zwecke wird die Hefe durch Aussieben von Verunreinigungen befreit, durch Waschen mit einer 1prozentigen Lösung von kohlensaurem Ammon entbittert, sehr trocken abgepreßt und mit mindestens 5 bis zu 10 Prozent ihres Gewichtes an Kochsalz innig gemischt, worauf schnell Verflüssigung eintritt. Die Zellen scheiden ihren flüssigen, eiweißhaltigen Inhalt aus, Kochsalz tritt ein und wirkt lösend auf die noch vorhandenen Eiweißstoffe. Durch den Zusatz von 5 bis 10 Prozent Kochsalz wird die Selbstgärung der Hefe zurückgehalten; die hierbei entstehenden, stark riechenden und schlecht schmeckenden Ester höherer Alkohole würden von ungünstigen Einfluß auf den Geschmack des Präparates sein.

Vorteilhaft läßt man die Hefe einige Zeit bei niederer Temperatur im Keller stehen, digeriert sie dann 2 bis 3 Stunden bei einer Temperatur von ungefähr 50° und bringt sie rasch zum Sieden. Oder man trägt die Masse in die gleiche bis doppelte Menge kochenden Wassers allmählich ein und kocht sie 1 bis höchstens 2 Stunden, worauf man die Flüssigkeit noch heiß abpreßt, den Preßrückstand nochmals mit heißem Wasser auszieht und abermals abpreßt. Die Flüssigkeit wird auf dem Wasserbade oder bei niedriger Temperatur eingedampft, bis sich eine Salzhaut bildet, wobei noch eine Ausscheidung von Eiweiß und Kochsalz stattfindet. Die eingedampfte Flüssigkeit stellt man in zylindrischen, offenen Klärgefäßen zum Absetzen hin und filtriert den nahezu klaren Extrakt. Durch längeres Stehen an der Luft wird der Wohlgeschmack des Extraktes erhöht.

Aus dem Preßrückstande, der aus den Zellresten und dem koagulierten Eiweiß besteht, und zu dem man auch das beim Eindampfen des Extraktes ausgeschiedene Eiweiß und Kochsalz hinzugeben kann, kann durch künstliche Verdauung ein minderwertiger und weniger wohlschmeckender Extrakt zur Bereitung von Nährzwieback und anderen konzentrierten Nahrungsmitteln hergestellt werden. Außerdem ist der Rückstand als Futtermittel zu verwenden.

Ein anderes Verfahren zur Herstellung von Nähr-

präparaten aus Hefe wurde im Jahre 1897 der Firma Peters in Schärbeck patentiert. Es beruht im wesentlichen darauf, daß die bitter schmeckenden Stoffe und anderen Beimengungen, welche die Hefe enthält, durch Auswaschen mit verdünnter Essigsäure entfernt werden.

Werden zum Auswaschen Mineralsäuren verwendet, so treten technische Schwierigkeiten insoferne auf, als das Absetzen der Hefe nur nach längerer Zeit und auch dann nur ungenügend eintritt. Besonders empfindlich sind diese Schwierigkeiten dann, wenn das Auswaschen wiederholt ausgeführt wird.

Öfteres Auswaschen ist aber nötig, weil durch ein nur einmaliges Auswaschen die Beimengungen der Hefe nicht genügend entfernt werden können. Die Aufgabe des Verfahrens besteht darin, das Auswaschen der Hefe dadurch zu erleichtern, daß dem Waschwasser Essigsäure zugesetzt wird. Die Menge derselben ist variabel, zweckmäßig setzt man ein Tausendstel Essigsäure hinzu.

Das Verfahren wird in der folgenden Weise durchgeführt. Die verdünnte Hefe wird durchgeseiht und dann wiederholt mit Eiswasser gewaschen. Die Zahl der Waschungen richtet sich nach der Art der Hefe und dem angestrebten Zwecke. Eine viermalige Waschung, Absetzenlassen und Entfernen des Waschwassers genügt im allgemeinen, um die Hefe zur Herstellung von Nährpräparaten genügend zu reinigen.

Die Vorteile der Verwendung der Essigsäure an Stelle einer anorganischen oder von anderen organischen Säuren (Weinsäure, Zitronensäure, Milchsäure) sind darin zu suchen, daß bei der Waschung mit verdünntem Essig das Absetzen der Hefe schneller vonstatten geht und sie dann ein geringeres Volumen besitzt. Weitere Vorzüge des Waschverfahrens mit Essigsäure bestehen darin, daß die Hefe keinen fremden Geschmack annimmt, daß Verunreinigungen von dem essigsauren Waschwasser gut und schnell aufgenommen werden und daß keine Zersetzung der Hefe eintritt.

Kohl führt ferner folgende Hefepräparate an:

„Ovos.“ Bierhefe wird in Dampf gekocht, wobei eine

dickflüssige Masse erhalten wird, die man im Vakuum auf Extraktdicke eindampft. Ovos riecht schwach, aber nicht würzig, löst sich in Wasser zu einer trüben Flüssigkeit, reagiert schwach sauer und schmeckt stark salzig.

„Wuk“ gewinnt man durch Eintragen von Bierhefe in ein gleiches Volumen Wasser von 60 bis 70° und eventuelles Konzentrieren als hellbraunen, schwach riechenden Extrakt.

„Siris“ wird durch Behandlung von Hefe mit Äther und Eindicken des gewonnenen Extraktes erhalten. Es enthält:

29·54	Prozent	Wasser,
49·5	„	stickstoffhaltige organische Substanz,
17·29	„	Asche.

Um aus Hefe ein Speisemehl zu bereiten, wird sie nach J. M. W. Müller unter Zusatz von Salz durch Erwärmen auf 70 bis 80° verflüssigt und dann mit Stärke oder mit Mehl verrührt, wobei sich Kleister bildet. Die Masse wird dann erkalten gelassen, gut verrührt und bei 30° getrocknet, worauf die Masse zu einem feinen Pulver vermahlen wird. Das Erzeugnis soll als Ersatz für Fleischextrakt dienen.

Durch Verreiben von Hefe mit Zucker und Stärkemehl erhält man eine der kondensierten Milch ähnliche Masse, die als „Hefezucker“ bezeichnet wird; als Kaffeesurrogat wird geröstete Hefe verwendet.

Auch als Heilmittel wurde Hefe empfohlen und es scheinen damit tatsächlich unter Umständen gute Erfolge erzielt worden zu sein. E. Merck-Darmstadt führt darüber folgendes an:

Nach Gallion vermag Bierhefe das Diphtherietoxin zu zerstören, indem die bei der Gärung entstehenden Säuren das basische Gift neutralisieren und wirkungslos machen. Ob diese Erklärung richtig ist, muß allerdings dahingestellt bleiben. Gallion hat auch vorgeschlagen, die Diphtherie durch Züchtung von Hefepilzen auf den erkrankten Membranen zu heilen. Doch auch dieser Vorschlag dürfte kaum ausführbar sein, weil sich die diphtherische Erkrankung oft ungemein schnell ausbreitet und Hefen wohl nur einen höchst ungünstigen Nährboden auf den Schleimhäuten finden würden.

Bei Geschwüren und Entzündungen (Phlegmone und Gerstenkorn) zeigte sich nach Terson die Hefe von günstiger Wirkung. Auch die Landausche Methode zur Bekämpfung gonorrhöischer Vaginalkatarrhe mittels Hefe ist in mehreren Fällen von Erfolg begleitet gewesen.

Bei innerlicher Verabreichung erwies sich die Hefe nach mehreren Forschern zur Aufhebung von Verstopfungen als geeignet, und zwar besaß frische und getrocknete Hefe die gleiche Wirksamkeit.

Bei Krankheiten, die mit Fieber verbunden sind, scheint es sich herausgestellt zu haben, daß die Hefe bei ihrer Einführung durch den Magen die Körpertemperatur herabsetzt und schon dadurch einen günstigen Verlauf der Krankheit veranlaßt. Erfolge mittels Hefe sind bei Influenza, Typhus, Mandel- und Blinddarmentzündung und bei allgemeinen eitrigen Prozessen erzielt worden. Auch gegen Furunkulose ist Hefe mit Erfolg angewendet worden. In Fällen, wo alle anderen Mittel, auch Arsen, versagten, ist mit Hefe zunächst Besserung und schließlich Heilung erzielt worden, allerdings in hartnäckigen Fällen erst nach sehr langer Behandlung.

Hefe wurde ferner auch verwendet, um dem Organismus Metalle, wie Eisen, dann Quecksilber, Kupfer, endlich auch Arsen rc. zuzuführen. Es handelt sich hierbei um Herstellung organischer Verbindungen dieser Stoffe, die vom Organismus resorbiert werden. Ferratogen ist eine Nukleineisenverbindung, die durch Kultivierung von Hefe in eisenhaltigen Flüssigkeiten gewonnen wird. Das entstehende Eisennuklein wird isoliert, mit Magensaft verdaut und dann bis zum Verschwinden der Eisenreaktion mit salzsäurehaltigem Alkohol gewaschen, wobei jedoch das organisch gebundene Eisen nicht entfernt wird. Ferratogen wird im Magen nicht angegriffen, sondern erst im Darm vom Pankreassafte gelöst. Nach Versuchen von Cloette werden im Organismus 37 bis 50 Prozent des in Form von Ferratogen in den Organismus eingeführten Eisens resorbiert.

XI. Abschnitt.

Die technische Verwertung der Hefe.

Brauereihefe wird, sofern sie nicht als Mutterhefe verwertet werden kann, am besten verfüttert, oft dient sie auch als Ersatz für Preßhefe oder zur Verfälschung derselben, obwohl sie dazu als untergärige Hefe nicht geeignet ist. Anders verhalten sich die Hefen der obergärigen Biere, die ganz gut für Bäckerzwecke benutzt werden können, sofern man sie entbittert. Dies geschieht durch wiederholtes Waschen mit Wasser, wobei man dem Wasser meist etwas Soda oder kohlensaures Ammon zufügt.

Auch die Weinhefe kann verfüttert werden (siehe S. 424), doch enthält sie noch zahlreiche wertvolle Stoffe, so daß ihre weitere technische Verarbeitung sehr am Platz ist, besonders dort, wo größere Mengen zur Verfügung stehen. Aus der Weinhefe läßt sich zunächst durch Auspressen oder Filtrieren der ihr beigemengte Wein gewinnen, ferner durch Destillation Hefebranntwein und Önanthäther, dann Weinsäure, beziehungsweise zunächst weinsaurer Kalk, und endlich kann die Hefe auch zu Hefeschwarz verarbeitet werden.

Die nach dem Abziehen des Weines hinterbleibende Hefe enthält immer noch 50 bis 60 Prozent ihres Volumens Wein, der durch Auspressen gewonnen werden kann. Soll der Wein jedoch keinen unangenehmen Geschmack annehmen, so muß das Auspressen bald ausgeführt werden. Man verwendet dazu Hebelpressen oder, wenn es sich um die Bewältigung größerer Mengen handelt, Filterpressen, endlich kann man an Stelle des Pressens die Hefe auch filtrieren. Wird die Hefe nach

dem Abpressen nicht gleich weiter verarbeitet, so muß sie, um sie zu konservieren, getrocknet werden, was am besten unter Verwendung künstlicher, jedoch nicht zu sehr gesteigerter Wärme geschieht.

Zur Darstellung von Hefebranntwein kann sowohl die flüssige, unmittelbar aus dem Fasse stammende, oder auch die abgepreßte Hefe verwendet werden, doch ist in diesem Falle die Ausbeute an Branntwein entsprechend geringer. Abgepreßte Hefe muß, ehe sie in den Destillierapparat gebracht wird, neuerdings mit Wasser angerührt werden. Abgepreßte Weinhefe liefert immer noch 1 bis 4 Prozent Lagerbranntwein.

Da die Hefe in den Destillierapparaten leicht anbrennt, ist die Verwendung von Rührvorrichtungen unbedingt zu empfehlen. Auch darf die Blase nicht mehr als bis höchstens zu zwei Dritteln gefüllt werden, um das zu starke Schäumen und schließliche Übersteigen zu verhüten. Der Hefebranntwein zeichnet sich durch einen eigentümlichen, aromatischen Geruch und Geschmack aus, jedoch nur dann, wenn frische Hefe verwendet wurde. Doch ist er nur nach längerem Lagern verwertbar, eventuell wird er durch nochmalige Destillation verfeinert.

Setzt man die Destillation nach dem Abtreiben des Alkohols noch weiter fort, so geht dann auch das Drusenöl (Önanthäther) über. Es verflüchtigt sich allerdings zum Teil auch schon mit den Alkoholdämpfen und löst sich in dem Hefebranntwein auf, dem es den charakteristischen Geruch und Geschmack verleiht, doch siedet es bei höherer Temperatur und geht daher erst später in größeren Mengen über. Zu seiner Darstellung sind allerdings die modernen Destillierapparate nicht geeignet, weil es hier vorzeitig kondensiert wird und immer wieder in die Blase zurückfließt. Am leichtesten gelingt seine Darstellung in ganz gewöhnlichen Destillierblasen mit flachem Helm.

Rautert hat zur Darstellung dieses Wein- oder Drusenöles aus Hefe das folgende Verfahren angegeben:

Die Weinhefe wird in ein hölzernes Faß gefüllt, das so groß ist, daß wenigstens 150 bis 300 Kilogramm Hefe auf einmal destilliert werden können, dann soll das Faß bis

zu zwei Dritteln gefüllt sein. Durch ein am Boden des Fasses mündendes Rohr wird ein lebhafter Dampfstrom eingeleitet. Auch der Deckel ist mit einem Rohre versehen, das nach dem Kühlapparate führt, hier werden die Dämpfe verdichtet und das Drusenöl scheidet sich in Form schwarzer Tropfen ab, die auf dem Destillate schwimmen. Die Destillation dauert ungefähr 5 Stunden.

Das rohe Weinöl ist eine dunkle Flüssigkeit, die einen widerlichen Geruch besitzt. Man kann es jedoch reinigen und als wasserhelle Flüssigkeit erhalten, wenn man es in einem kleinen Destillierapparate abermals der Destillation unterwirft. Im gewissen Sinne ist das Weinöl dem Fuselöl ähnlich, es ist durchaus kein einheitlicher Körper, sondern ein Gemenge zahlreicher Verbindungen, unter denen mit Sicherheit neben Äthylalkohol Amylalkohol, dann aber auch geringe Mengen Propyl-, Butyl- und Hexylalkohol, ferner Fettsäuren, die mit den genannten Alkoholen verestert sein dürften, und zwar hauptsächlich Kaprinsäure neben Kaprylsäure und Önanthylsäure, nachgewiesen wurden.

Ist aus der Hefe der Wein durch Auspressen und durch Destillation Hefebranntwein und Önanthäther gewonnen worden, so enthält sie noch saures weinsaures Kali, d. i. Weinstein, dessen Gewinnung ebenfalls empfehlenswert ist. Weinstein lagert sich allerdings auch in den Weinfässern ab und wird als „Rohweinstein" bei der Reinigung gewonnen, doch ist die Nachfrage nach Weinsäure so groß, daß sich meist auch die weitere Verarbeitung der Hefe nach dieser Richtung lohnen wird, sofern genügende Mengen zur Verfügung stehen.

Läßt man die entgeistete Hefe erkalten, so kristallisiert ein großer Teil des Weinsteines aus, der von der schmierigen Masse durch Aussieben mittels Haarsieben getrennt wird. Diese Arbeit ist aber ebenso umständlich wie zeitraubend, weit besser ist es daher, die heiße Schlempe in Preßsäcke zu füllen und auszupressen. Die ablaufende Flüssigkeit enthält dann den Weinstein gelöst, der während des Erkaltens auskristallisiert. Um auch den in der Mutterlauge verbleibenden Anteil zu gewinnen, verwendet man diese am besten zum

Verdünnen der abgepreßten Hefe an Stelle von Wasser bei der Destillation.

Soll der Weinstein aus frischer, beziehungsweise bloß abgepreßter Hefe gewonnen werden, so rührt man sie mit Wasser an und erhitzt zum Kochen, worauf man sie ebenso weiter behandelt, wie für die entgeistete Schlempe angegeben. Die von der Kristallisation hinterbleibende Mutterlauge benutzt man dann stets zum Anrühren neuer Hefemengen.

In der Weinhefe ist jedoch nicht nur Weinstein, d. i saures weinsaures Kalium, sondern auch weinsaurer Kalk, der in Wasser unlöslich ist, vorhanden. Um auch diesen zu gewinnen, wird die Hefe in einem mit Blei ausgekleideten Bottich mit Salzsäure versetzt, und zwar fügt man für je 1 Prozent Weinstein etwa 0·6 Prozent rohe käufliche Salzsäure zu. Dadurch wird sowohl der Weinstein wie auch der weinsaure Kalk zerlegt, es entsteht Chlorkalium neben freier Weinsäure. Man erhitzt die Masse durch Einleiten von Dampf zum Sieden und läßt sie dann einige Stunden ruhig stehen, wobei sich die Hefe zu Boden setzt. Die darüberstehende klare Lösung wird abgezogen und der Rückstand abgepreßt, die Flüssigkeit bringt man in ein geräumiges Gefäß und fügt nun gepulverte Kreide oder Kalkmilch hinzu, bis die Säure abgestumpft ist. Nun bildet sich unlöslicher weinsaurer Kalk, der sich ausscheidet. Der weinsaure Kalk wird dann mit Schwefelsäure zerlegt, wobei sich schwefelsaurer Kalk (Gips) abscheidet, während die Lösung freie Weinsäure enthält.

Die nach der Abscheidung des Weinsteines hinterbleibende Hefe kann nun noch weiter verarbeitet werden, so z. B. dient sie zur Gewinnung von Frankfurterschwarz. Zu diesem Zwecke wird die Hefe unter Luftabschluß verkohlt, dies geschieht entweder in größeren, geschlossenen Retorten, wobei gleichzeitig ein brennbares Gas gewonnen werden kann, oder in kleinerem Maßstabe in Tiegeln, die mit einem gut passenden Deckel versehen sind. Der verkohlte Rückstand wird noch heiß ins Wasser geworfen und hier ausgelaugt, um die löslichen Bestandteile (Salze) zu entfernen. Dann wird die ausgelaugte Kohle auf einer Farbenmühle fein vermahlen und getrocknet.

Frische Weinhefe kann auch zur Darstellung eines wein-

ähnlichen Getränkes, des Hefeweines, verwendet werden. Zu diesem Zwecke wird die frische und nicht abgepreßte Hefe mit einer Zuckerlösung übergossen, die in Gärung gerät. Es bildet sich Alkohol, während die in der frischen Hefe enthaltenen Stoffe den weinähnlichen Charakter verleihen. Neßler empfahl das folgende Verfahren:

Pro 1 Hektoliter Zuckerlösung werden 10 bis 15 Liter Weinhefe zugesetzt. Je nach dem Alkoholgehalt, den der Hefewein erhalten soll, wird die Zuckerlösung verschieden konzentriert genommen, weil die Hefeweine aber immer nur als Haustrunk verwendet werden, ist die Verwendung einer 14- bis 17prozentigen Zuckerlösung vollständig ausreichend. An Stelle eines Teiles des Zuckers kann man dem fertigen Getränke natürlich auch unmittelbar Weingeist zufügen. Weil ferner die Hefe meist zu wenig Gerbstoff und Weinsäure enthält, ist auch ein Zusatz von rund 400 Gramm Weinsäure und 10 bis 15 Gramm Tannin pro 1 Hektoliter angezeigt, der Zusatz geschieht am besten vor der Gärung.

Voraussetzung ist, daß die Hefe ganz frisch sei, nur dann wird ein brauchbares Getränk gewonnen. Doch sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Hefewein in den meisten Staaten nur unter dieser Bezeichnung oder als „Halbwein“ verkauft werden darf.

XII. Abschnitt.

Die Untersuchung der Hefe.

Hefe, welche im Bäckergewerbe verwendet wird, soll sich durch große „Triebkraft“ auszeichnen, d. h. es soll sich binnen kurzer Zeit eine ausreichende Menge Kohlensäure entwickeln, um den Teig genügend zu lockern. Doch hängt die Eignung einer Hefe nicht ausschließlich von dieser Erscheinung ab, der gelockerte Teig muß vielmehr auch im Ofen seine Form behalten, er darf nicht vorzeitig zusammenfallen. Dies tritt besonders häufig bei untergärigen Bierhefen ein, während sich bei Verwendung obergäriger, beziehungsweise Preßhefen diese Erscheinungen nicht zeigen.

1. Bestimmung der Triebkraft.

Die Triebkraft einer Hefe wird durch die entstehende Menge Kohlensäure bestimmt, sie ist um so höher, je mehr Kohlensäure in gleichen Zeitabschnitten und unter gleichen Verhältnissen entwickelt wird. Dies ist aber, abgesehen von der Rasse der Hefe, ganz besonders von ihrem physiologischen Zustand abhängig und dieser ändert sich ziemlich rasch, je nach der Behandlung der Hefe, der Aufbewahrung, dem Verfahren, das zu ihrer Gewinnung angewendet wurde usf. Außerdem wird die zymatische Wirkung aber auch von der Temperatur, der Zusammensetzung der Nährflüssigkeit ꝛc. bestimmt. Um daher vergleichbare Zahlen zu erhalten, muß die Bestimmung der Triebkraft, die in der Wägung oder Messung der ab=

geschiedenen Kohlensäure gipfelt, stets unter gleichen, konventionellen Bedingungen ausgeführt werden.

Die bekanntesten Verfahren zur Ermittlung der Triebkraft einer Hefe sind die Methoden von E. Meißl, Hayduck und Kusserow, sie werden folgendermaßen ausgeführt:

Verfahren von Meißl.

Meißl bestimmt aus dem Gewichtsverlust die binnen 6 Stunden bei 30° gebildete Kohlensäure und verfährt zu diesem Zwecke folgendermaßen:

Es wird ein Gemenge, bestehend aus

400 Gramm reinstem Rohrzucker (Kandis),
25 " saurem phosphorsaurem Ammon,
25 " " " Kalium

bereitet und durch Zerreiben innig gemengt. Von diesem Gemenge bringt man 4·5 Gramm in ein Erlenmeyer-Kölbchen (Fig. 52), dessen Inhalt 70 bis 80 Kubikzentimeter beträgt, welches mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstöpsel verschlossen wird. Durch die eine Bohrung führt ein mit einem Kautschukverschluß versehenes Röhrchen a bis nahe auf den Boden des Kolbens, in die andere Durchbohrung wird ein Gärventil oder ein mit Chlorkalzium gefülltes Rohr b eingesetzt.

Das in dem Kölbchen befindliche Zuckergemisch wird hierauf in 50 Kubikzentimeter Gipswasser gelöst, das man herstellt, indem man 30 Teile einer gesättigten Gipslösung mit 70 Teilen destilliertem, luftgesättigtem Wasser verdünnt. Die Sättigung mit Luft verfolgt den Zweck, Fehler zu vermeiden, die dadurch entstehen könnten, daß das benutzte destillierte Wasser bald mehr, bald weniger Luft gelöst enthält. Man sättigt das Wasser mit Luft, indem man es in halbvollen Flaschen schüttelt oder indem man Luft hindurchsaugt.

In die, wie beschrieben, bereitete Lösung wird genau 1 Gramm der zu untersuchenden Hefe eingetragen und durch Schütteln und Zerdrücken mit einem Glasstabe gut verteilt. Dann wird das Kölbchen mit dem erwähnten Kautschukstöpsel samt Armatur verschlossen und gewogen. Hierauf bringt man

es in ein Wasserbad, dessen Temperatur genau auf 30° erhalten wird, oder in einen auf diese Temperatur eingestellten Thermostat, wo es 6 Stunden verbleibt. Die sich entwickelnde Kohlensäure entweicht durch das Chlorkalziumrohr oder durch das Gärventil, löst sich aber auch zum Teil in der gärenden Flüssigkeit auf.

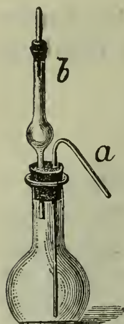


Fig. 52. Apparat zur Bestimmung der Triebkraft der Hefe nach Meißl.

Nach Ablauf der 6 Stunden wird das Kölbchen rasch abgekühlt, der Kautschukverschluß entfernt und nun ein langsamer Strom von Luft durchgesaugt, um die Kohlensäure zu verdrängen. Dann wird das genau so wie früher adjustierte Kölbchen abermals gewogen, die Differenz zwischen der ersten und zweiten Wägung entspricht der durch die Gärung entstandenen Kohlensäure. Ihre Menge wird um so größer sein, je höher die „Triebkraft" der untersuchten Hefe ist.

Um dies jedoch auch in einer Relativzahl ausdrücken zu können, nimmt Meißl eine Normalhefe an, die unter den beschriebenen Bedingungen 1·75 Gramm Kohlensäure entwickelt. Wird die Triebkraft dieser Hefe gleich 100 gesetzt, so läßt sich dann leicht die Triebkraft der untersuchten Hefe in Prozenten der Triebkraft der Normalhefe berechnen. Die nach der Meißlschen Methode ermittelte Triebkraft einer guten Preßhefe soll 75 bis 85 Prozent betragen.

Verfahren von Hayduck.

Zur Bestimmung der Triebkraft einer Hefe verfährt Hayduck ähnlich, nur mit dem Unterschiede, daß die entstandene Kohlensäure nicht gewogen, sondern gemessen wird. Er benutzt dazu den in Fig. 53 abgebildeten Apparat, dessen wesentlichster Bestandteil ein in Kubikzentimeter geteiltes Meßrohr M mit 500 Kubikzentimeter Inhalt ist.

Die Durchführung dieser Methode geschieht derart, daß 40 Gramm Rohrzucker in 400 Kubikzentimeter Wasser gelöst werden. Hierauf wiegt man 10 Gramm der zu untersuchenden Hefe ab und zerreibt sie in einer Reibschale unter Zugabe

einer geringen Menge dieser Zuckerlösung mittels des Pistilles, bis keine Klümpchen mehr erkennbar sind. Die Aufschlämmung wird in eine Flasche mit 1 Liter Inhalt gebracht, die Schale

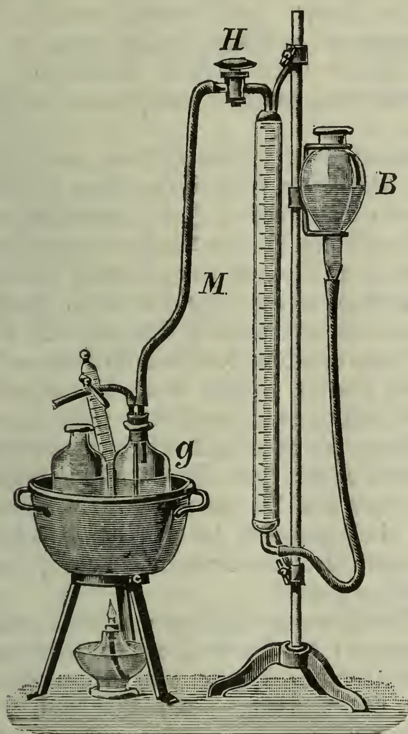


Fig. 53. Apparat zur Bestimmung der Triebkraft der Hefe nach Hayduck.

wird mit der Zuckerlösung ausgespült und schließlich auch der Rest dieser Lösung zugegeben. Durch Umschütteln wird der Inhalt der Flasche gut verteilt und diese dann in ein Wasserbad W von 30° gestellt, in dem sie 1 Stunde lang stehen bleibt. Dann erst wird die Gärflasche G mittels eines Kautschuk-

schlauches mit dem Meßapparate verbunden, dessen Röhre mit Wasser bis zum Nullteilstriche gefüllt ist.

Die sich entwickelnde Kohlensäure verdrängt nun das Wasser in der Meßröhre M, um jedoch Absorption der Kohlensäure durch das Wasser und dadurch die Verringerung der Kohlensäuremenge zu verhüten, bringt man in den weiten Schenkel der Rohre einen Tropfen Petroleum, der die unmittelbare Berührung zwischen Wasser und Kohlensäure verhindert.

Nach Ablauf einer halben Stunde wird der die Meßröhre mit der Gärflasche verbindende Hahn H geschlossen und durch den unten angebrachten Hahn oder durch Senken des Behälters B vorsichtig so viel Wasser abgelassen, daß es in beiden Schenkeln gleich hoch steht, worauf das Volumen der angesammelten Kohlensäure abgelesen wird. Diese Zahl dient dann entweder unmittelbar als Ausdruck für die Triebkraft der Hefe oder man berechnet das Gewicht des von 100 Gramm Hefe zersetzten Zuckers, indem man die gefundenen Kubikzentimeter Kohlensäure mit dem Faktor 0·03841 multipliziert.

Die Methode von Hayduck erfuhr verschiedene Verbesserungen, so durch Kusserow. Das Kusserowsche Verfahren besteht darin, daß das Volumen der Kohlensäure nicht wie bei Hayduck direkt gemessen, sondern daß das Volumen eines von der Gärungskohlensäure verdrängten gleich großen Wasserquantums bestimmt wird.

Andere Verfahren zur Bestimmung der Triebkraft beruhen auf der Bestimmung des Druckes, den die Gärungskohlensäure auf eine Quecksilbersäule ausübt. Auf diesem Prinzip beruhen die Verfahren von Mathews und Lankow. Die Apparate bestehen im wesentlichen aus einem entsprechend gebogenem Manometerrohre, das auf das Gärgefäß gasdicht aufgesetzt wird. Zunächst läßt man — ähnlich wie bei dem Verfahren von Hayduck — die sich entwickelnde Kohlensäure entweichen, dann wird das Gefäß geschlossen, worauf sich die Kohlensäure ansammelt und durch ihren Druck den Stand des Quecksilbers im Manometerrohre verändert. Nach Ablauf einer bestimmten, stets gleichbleibenden Frist wird der Stand des Quecksilbers abgelesen. Die Einhaltung bestimmter Tem-

peraturen ist bei allen diesen Verfahren natürlich unerläßlich, weil davon einerseits der Verlauf der Gärung, anderseits aber auch das Volumen der zu messenden Kohlensäure, beziehungsweise ihr Druck abhängt.

2. Nachweis von Bierhefe in Preßhefe.

Preßhefe wird mitunter durch Zusatz von untergäriger Bierhefe verfälscht, wodurch ihr Gebrauchswert für Bäckerzwecke leidet. Denn mit Preßhefe bereitete Brote besitzen eine höhere und den herkömmlichen Anschauungen nach bessere Form als mit Bierhefe bereitete Brote, auch soll die Gegenwart von Bierhefe in Preßhefe auf die Beschaffenheit der Krume einwirken, indem sie bei Verwendung von reiner Preßhefe „kleinblasig", bei Verwendung von Bierhefe dagegen „großblasig" ausfällt. Doch auch der Geschmack und die Haltbarkeit des Gebäcks ändern sich, und Dafert und Kornauth fanden, daß sich bei Broten, die mit Hilfe von Bierhefen bereitet wurden, relativ frühzeitig Symptome der Zersetzung einstellen. Die Ursache des Unterschiedes zwischen Bier- und Preßhefe hinsichtlich der Beschaffenheit und Form des Gebäcks, besonders aber der Tatsache, daß mit Preßhefe bereitetes Gebäck im Ofen die Form behält, während mit Bierhefe hergestelltes bald zusammensinkt, dürfte nach den Lintnerschen Untersuchungen darin liegen, daß die Unterhefen in bezug auf ihre Gärkraft gegen Temperaturen über 30° weit empfindlicher sind als die Getreidepreßhefen.

Nach umfassenden Versuchen, welche Dafert und Kornauth (Archiv für Chemie und Mikroskopie, 1908) durchgeführt haben, um ein sicheres und leicht anzuwendendes Verfahren zum Nachweis eines Zusatzes von Bierhefe zu Preßhefe zu finden, ist dazu die Bestimmung der Triebkraft nicht geeignet, doch läßt sich auch keine feste Relation zwischen der Triebkraft und den Ergebnissen des praktischen Backversuches auffinden.

Zum Nachweis von Bierhefe in Preßhefe stehen gegenwärtig zwei Verfahren zur Verfügung, die Methode von Bau und die Lintnersche Tröpfchenkultur.

Methode von Bau.

Die Bausche Methode beruht auf der von Berthelot und Loiseau gefundenen Tatsache, daß die Raffinose (Melitriose) durch gewisse Hefen nach vorhergehender Hydrolyse nur teilweise vergoren wird, indem bloß die sich bei der Hydrolyse bildende Fruktose, nicht aber auch die Melibiose in Alkohol und Kohlensäure zerlegt wird. Bau wies dann nach, daß die Raffinose durch Unterhefen bei 25 bis 30° vollständig vergoren wird, was Oberhefen nicht gelingt.

Tatsächlich werden durch den Einfluß von Ober- und Unterhefen aus Melitriose Fruktose und Melibiose gebildet. Während aber in der Regel Unterhefen (Typus Saaz und Frohberg), sowohl Fruktose als auch Melibiose mehr oder weniger schnell vollständig vergären, können die Oberhefen bloß die Fruktose in Gärung versetzen und lassen, wenigstens längere Zeit hindurch, die Melibiose unverändert. Bau erklärte dieses Verhalten dadurch, daß nur die frischen oder sehr vorsichtig getrockneten Unterhefen das Enzym „Melibio-Glykase“ enthalten, ihm käme die Eigenschaft zu, Melibiose in d-Glykose und d-Galaktose zu spalten und dadurch vergärbar zu machen. Den meisten Oberhefen soll dieses Enzym fehlen. Bei der Vergärung der Melitriose wirke noch das Enzym Invertin mit, welches vorher die Spaltung in Fruktose und Melibiose einzuleiten habe.

Kusserow empfiehlt, die Bausche Methode folgendermaßen durchzuführen:

„10 Gramm der zu untersuchenden Hefe werden in 100 Kubikzentimeter Wasser aufgelöst und bis zum Absetzen stehen gelassen. Nach dem Abgießen des über der Hefe stehenden Wassers wird nochmals mit 100 Kubikzentimeter Wasser aufgerührt, absitzen gelassen, das Wasser abgegossen und die Hefe auf einem Filter abfiltriert. Hierauf wird das Filter zwischen einigen Bogen Filtrierpapier so lange liegen gelassen, bis die Hefe den gewöhnlichen Grad der Trockenheit erreicht hat.

Von dieser Hefe werden auf einer genauen Wage 0·4 Gramm abgewogen, in ein sauber gereinigtes Reagensglas gebracht und 10 Kubikzentimeter einer 1prozentigen,

frisch bereiteten Melitrioselösung hinzugegeben. Das Gläschen wird dann mit reiner Watte (Verbandwatte) verschlossen und in einen Thermostaten oder in ein Wasserbad von 24° R gestellt und genau 24 Stunden stehen gelassen.

Hierauf filtriert man den Inhalt des Reagensglases durch ein kleines Filter in ein anderes Reagensglas ab, nimmt von dem klaren Filtrat 3 Kubikzentimeter und versetzt sie mit Fehlingscher Lösung, welche frisch zusammengestellt sein muß.

Das Reagensglas wird dann 5 Minuten in einen kleinen Topf mit kochendem Wasser gestellt, worauf man dasselbe zum Absetzen des roten Niederschlages stehen läßt.

Bleibt die über dem Niederschlag stehende Flüssigkeit blau, so war die Hefe mit über 10 Prozent Unterhefe verfälscht.

Um noch kleinere Quantitäten Unterhefe (die aber praktisch wohl kaum in Betracht kommen werden) mit Sicherheit zu erkennen, kann man ein zweites oder drittes Reagensglas mit Melitriose und Hefe 48, respektive 72 Stunden gären lassen und dann wie beschrieben weiter verfahren.

Bleibt die Flüssigkeit nach dem Absetzen des roten Niederschlages bei 48stündiger Gärung blau, so kann auf mindestens 5 Prozent Unterhefe geschlossen werden. (Tritt dasselbe nach 74stündiger Gärung ein, so liegt eine Verunreinigung von zirka 1 Prozent oder darüber vor.)

Ist dagegen die Lösung bei 72stündiger Gärung gelb oder braungelb, so ist damit der Beweis geliefert, daß die Hefe vollständig frei von Unterhefe ist.

Für den Fall, daß die Blaufärbung der Fehlingschen Lösung nicht verschwindet, ist es nötig, zirka 5 Gramm der gewaschenen und abfiltrierten Hefe mit 100 Kubikzentimeter zirka 10prozentiger, vorher aufgekochter Malzwürze bei 14° zur Gärung hinzustellen. Nach 24 Stunden erhöht man die Gärtemperatur auf 24°. Nach 48 Stunden wird die abgesetzte Hefe einmal mit Wasser gewaschen, auf ein Filter gebracht und mit dieser Hefe der beschriebene Versuch wiederholt.

Wenn auch jetzt die blaue Farbe der Fehlingschen Lösung nicht vollständig verschwindet, so ist zweifellos untergärige Bierhefe vorhanden gewesen."

Zu Täuschungen bei der Anwendung der Bauschen Methode kann dann Gelegenheit sein, wenn Hefen vorliegen, die Übergänge vom untergärigen zum obergärigen Charakter aufweisen, wenn Anpassungsvorgänge eine Rolle spielen oder wenn wilde Hefen, Spaltpilze ꝛc. vorhanden sind (Lufthefe), die auf Melitriose verändernd einwirken.

So z. B. vergären die Melitriose:

Ananashefe, einige Moniliaarten, einige Amylomycesarten, Aspergillus oryzae ꝛc.

Nach den eingehenden Untersuchungen von Dafert und Kornauth hat sich unter den österreichischen Preßhefen keine einzige gefunden, die bei der Prüfung nach dem Bauschen Verfahren versagt hätte, es zeigte sich vielmehr, daß auch den Lufthefen die Fähigkeit, die Melibiose zu vergären, vollständig abgeht. Die Methode von Bau bildet mithin in den meisten Fällen ein brauchbares Mittel, um eine Beimengung von Bierhefe in Preßhefe nachzuweisen, zur quantitativen Bestimmung des Zusatzes ist sie jedoch nicht geeignet. Doch ergab sich auch, daß bei Hefen, die längere Zeit gelagert haben, die Bausche Methode nicht absolut zuverlässig ist, doch vermag man in den gewöhnlich schon durch einfaches Waschen und in allen Fällen durch Umgärung den durch das Lagern der Hefe hervorgerufenen Täuschungen zu entgehen. Da das vom Waschen der Hefe abfallende Waschwasser ebenfalls Melitriose zu zerlegen und zu vergären vermag, so folgern Dafert und Kornauth, daß es vorwiegend lebende Organismen sein dürften, welche während des Lagerns der Preßhefe überhandnehmen und befähigt sind, Melitriose zu vergären. Darauf deutet der Umstand, daß diese Erscheinung meistens, ja nahezu ausschließlich bei Lufthefen auftritt und mit der Umgärung verschwindet.

Lintners Tröpfchenkultur.

Einwände, welche gegen die allgemeine Anwendbarkeit der Bauschen Methode für die Untersuchung von gemischten Hefen erhoben wurden, haben Lintner veranlaßt, zunächst auf dem V. Internationalen Kongresse für angewandte Chemie zu Berlin 1903 in einem Vortrage: „Über die biologische

Analyse gärender Flüssigkeiten" *) und dann in zwei Veröffentlichungen **) neuerdings auf die von ihm schon lange empfohlene Tröpfchenkultur (siehe S. 264) hinzuweisen, mittels welcher auf eine einfache und elegante Art die Oberhefen von den untergärigen Hefen unterschieden werden können.

Von der Voraussetzung ausgehend, daß die aus dem einzelnen Keim wachsenden Sproßbäumchen im hängenden Tröpfchen sich ungehindert entwickeln können, wenn sie Raum genug haben, und daß sich die Sproßbäumchen der Unterhefe von jenen der Oberhefe wesentlich unterscheiden, hat Lintner folgende Leitsätze aufgestellt:

„Finden wir in den angelegten Tröpfchenkulturen gleichartige Keimungsbilder, so ist uns zunächst die Einheitlichkeit der Hefeprobe aufs augenfälligste verbürgt."

„Führt der Sproßmodus außerdem noch zum Typus des sparrig verästelten Sproßbäumchens, dann ist auch kein Zweifel, daß wir es mit einer einheitlich zusammengesetzten Oberhefe zu tun haben."

„Hefen, die in sparrigen Sproßverbänden wachsen, werden also ohne weiteres als Oberhefen zu begutachten sein."

In der späteren Arbeit ergänzt Lintner seine Vorschläge noch dahin, daß er den Preßhefefabrikanten, welche nach sparrigem Typus wachsende Hefen noch nicht führen sollten, ihre Beschaffung anrät. Daraus erwüchsen diesen Fabriken eine Reihe von Vorteilen:

„1. Sie können sich selbst beständig daraufhin kontrollieren oder kontrollieren lassen, ob der Wachstumstypus einheitlich geblieben ist.

2. Sie sind imstande leicht den Nachweis zu führen, ob eine von ihnen abgegebene Hefe mit nicht sparrig wachsenden Hefen vermischt worden ist.

---

*) Berichte vom V. Inter. Kongreß f. angewandte Chemie, Berlin, 2. bis 8. Juni 1903, 111, S. 551 ff.

**) „Der Nachweis von Bierhefe in Preßhefe mittels der biologischen Analyse ꝛc." Zeitschr. f. Spiritusind. 1904, Nr. 16, und: „Zur Einführung von Preßhefen von sparrigem Typus." Ebenda, Nr. 22.

3. Sie vermögen innerhalb 24 Stunden Zweiflern gegenüber den Beweis zu erbringen, daß ihre Hefe sparrig wächst und somit einem wirklichen Preßhefetypus angehört."

Lintner meint, die aufgezählten Vorteile „würden für eine allgemeine Einführung des sparrigen Preßhefetypus, der ja keine Schwierigkeiten entgegenstehen, sehr sprechen." Auch zöge „eine solche allgemeine Einführung des sparrigen Preßhefetypus die Annehmlichkeit nach sich, daß dann die Methode der Tröpfchenkultur die beste Waffe gegen Verfälschungen abgeben würde."

Dafert und Kornauth haben auch diese Methode einer eingehenden Prüfung unterzogen, gelangten jedoch zu dem Schlusse, daß die genauere quantitative Bestimmung von Bierhefen in Handelshefen nach Lintner äußerst schwierig ist, wenn sie auch nicht aussichtslos genannt werden kann. Ganz ausgeschlossen erscheint es nämlich den genannten Forschern nicht, daß einmal eine Modifikation der Arbeitsmethode gefunden wird, welche praktisch brauchbare Ergebnisse liefert. Dagegen bietet die elegante Lintnersche Tröpfchenmethode ein ausgezeichnetes Mittel, die Reinheit einer Preßhefe nicht nur im Hinblicke auf eine Beimengung von Unterhefe, sondern auch unter dem Gesichtspunkte der Anwesenheit einer größeren Menge von Bakterien zu prüfen.

3. Nachweis und Bestimmung von Stärke in Preßhefe.

Der Nachweis von Stärke in Preßhefe gelingt mit Hilfe der Jodreaktion und des Mikroskopes verhältnismäßig leicht, dagegen ist die quantitative Bestimmung dann schwierig, ja unmöglich, wenn größere Genauigkeit gefordert wird. Da es sich aber dort, wo mit Stärke vermengte Preßhefen vorliegen, zumeist um grobe Fälschungen handelt, weil sich der Zusatz geringer Stärkemengen nicht rentieren würde, so vermögen wohl auch weniger exakte Methoden zu entsprechen, besonders, wenn sie rasch die annähernd genaue Bestimmung gestatten.

Einen zur Ausführung der quantitativen Bestimmung der Stärke in Preßhefe unter diesen Gesichtspunkten vor-

trefflich geeigneten Apparat hat Neumann-Wender konstruiert und „Amylometer" genannt.

Das Neumann-Wendersche Amylometer besteht aus einer kleinen, auf dem Tische anschraubbaren Handzentrifuge mit zwei Metallhülsen. Hierzu gehören die eigentlichen „Amylometerröhren", das sind Sedimentiergläschen, die an einem Ende ausgezogen und mit einer Skala versehen sind. Die Röhren sind derart kalibriert, daß sie direkt die Ablesung des Stärkegehaltes in Prozenten gestatten, bezogen auf Kartoffelstärke mit einem Wassergehalte von 20 Prozent. Zum Apparate gehört ferner auch eine Mischeprouvette, welche bei 5, 10 und 11 Kubikzentimeter Marken trägt.

Die Untersuchung wird folgendermaßen ausgeführt: 1 oder 2 Gramm eines guten Durchschnittsmusters der zu untersuchenden Preßhefe werden in die Mischeprouvette gebracht, in welche man 10 Kubikzentimeter Wasser und 1 Kubikzentimeter Jodlösung gefüllt hat und mit Hilfe eines Glasstabes gut und gleichmäßig gemischt. Nach dem Durchschütteln bringt man die Mischung in das Amylometerröhrchen, spült die Eprouvette mit 5 Kubikzentimeter Wasser nach, verschließt das Amylometerrohr, bringt es in die Hülse, mit dem Stöpsel nach oben gerichtet und setzt die Zentrifuge in Bewegung. Man zentrifugiert gleichmäßig durch 3 Minuten. Nach dem Stillstehen der Zentrifuge werden die Eprouvetten herausgehoben und nun wird die Höhe der schwarzblau gefärbten Schicht von Jodstärke, die sich von der gelblich gefärbten Hefe sehr gut abhebt, abgelesen. Bei Untersuchung von Hefen mit hohem Stärkegehalte verwendet man das größere Amylometerrohr; beträgt der Stärkegehalt unter 15 Prozent, so benutzt man die kleinere Röhre. Damit sich die Zentrifuge gleichmäßig dreht, müssen stets beide Röhren beschickt werden. Die Untersuchung erfordert nur sehr wenig Material und ist binnen 5 Minuten ausgeführt; der Apparat ist leicht transportabel.

4. Bestimmung der Weinsäure in Weinhefe.

Zur Bestimmung der Weinsäure in Weinhefen und Rohweinstein wird meist die von Goldenberg, Geromet

& Co. ausgearbeitete, von Fresenius verbesserte Methode angewendet. Sie wird folgendermaßen ausgeführt:

Von einer richtig entnommenen Durchschnittsprobe der Weinhefe oder des Rohweinsteines werden 10 Gramm abgewogen und mit 7 Gramm kohlensaurem Kalium und 150 Kubikzentimeter Wasser 30 Minuten unter häufigem Umrühren gekocht. Dann wird der gesamte Inhalt der Schale, die man zweckmäßig zur Ausführung des Kochens benutzt, in einen 200 Kubikzentimeter fassenden Meßkolben gespült und nach dem Erkalten bis zur Marke ausgefüllt. Bei der Untersuchung von Weinhefen fügt man außerdem noch 3 Kubikzentimeter Wasser hinzu, entsprechend dem Volumen des unlöslichen Rückstandes.

Der Inhalt des Kolbens wird durch ein trockenes Faltenfilter filtriert und vom klaren Filtrate werden 100 Kubikzentimeter entnommen und in einer Schale auf etwa 25 Kubikzentimeter eingeengt. Man versetzt dann unter Umrühren mit 5 Kubikzentimeter Eisessig und erwärmt die bedeckte Schale durch 15 Minuten auf dem Wasserbade. Nach dem Erkalten versetzt man mit 100 Kubikzentimeter absolutem Alkohol, rührt kräftig um und sammelt nach etwa 15 Minuten den Niederschlag von Weinstein auf einem Filter mit 5 Zentimeter Halbmesser, wobei man sich zur Beschleunigung der Filtration der Wasserstrahlluftpumpe bedient. Man wäscht so lange mit 96prozentigem Alkohol, bis 20 Kubikzentimeter der ablaufenden Waschflüssigkeit mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt und mit 3 Tropfen $^1/_5$ Normallauge versetzt, alkalisch reagieren.

Man bringt dann das Filter samt dem Niederschlage in die Schale zurück, fügt 200 Kubikzentimeter Wasser zu, erhitzt zum Sieden und titriert mit $^1/_2$ Normal-Natronlauge unter Verwendung von Lackmus oder Azolithmin als Indikator. Die $^1/_2$ Normal-Natronlauge wird auf reine Weinsäure eingestellt.

Anhang.

Hilfstabellen.

Vergleich der Thermometergrade.

Réaumur	Celsius	Réaumur	Celsius	Réaumur	Celsius
0	0·00	27	33·75	54	67·50
1	1·25	28	35·00	55	68·75
2	2·50	29	36·25	56	70·00
3	3·75	30	37·50	57	71·25
4	5·00	31	38·75	58	72·50
5	6·25	32	40·00	59	73·75
6	7·50	33	41·25	60	75·00
7	8·75	34	42·50	61	76·25
8	10·00	35	43·75	62	77·50
9	11·25	36	45·00	63	78·75
10	12·50	37	46·25	64	80·00
11	13·75	38	47·50	65	81·25
12	15·00	39	48·75	66	82·50
13	16·25	40	50·00	67	83·75
14	17·50	41	51·25	68	85·00
15	18·75	42	52·50	69	86·25
16	20·00	43	53·75	70	87·50
17	21·25	44	55·00	71	88·75
18	22·50	45	56·25	72	90·00
19	23·75	46	57·50	73	91·25
20	25·00	47	58·75	74	92·50
21	26·15	48	60·00	75	93·75
22	27·50	49	61·25	76	95·00
23	28·75	50	62·50	77	96·25
24	30·00	51	63·75	78	97 55
25	31·25	52	65·00	79	98·70
26	32·50	53	66·25	80	100·00

Vergleich zwischen den Graden des Ballingschen Saccharometers, des Baumeschen Aräometers und der im Liter enthaltenen Zuckermenge.

Gewichtsprozente Zucker	Baumé Grade (neue)	Zucker im Liter Kilogramm	Gewichtsprozente Zucker	Baumé Grade (neue)	Zucker im Liter Kilogramm	Gewichtsprozente Zucker	Baumé Grade (neue)	Zucker im Liter Kilogramm	Gewichtsprozente Zucker	Baumé Grade (neue)	Zucker im Liter Kilogramm
0·0	0·0	0·000	25·0	14·1	0·276	50·0	27·7	0·616	75·0	40·6	1·037
0·5	0·3	0·005	25·5	14·3	0·283	50·5	28·0	0·624	75·5	40·9	1·046
1·0	0·6	0·010	26·0	14·6	0·289	51·0	28·2	0·631	76·0	41·1	1·056
1·5	0 8	0·015	26·5	14·9	0·295	51·5	28·5	0·639	76·5	41·4	1·065
2·0	1·1	0·020	27·0	15·2	0·301	52·0	28·8	0·647	77·0	41·6	1·075
2·5	1·4	0·025	27·5	15·5	0·307	52·5	29·0	0·654	77·5	41·9	1·084
3·0	1·7	0·030	28·0	15·7	0·314	53·0	29·3	0·662	78·0	42·1	1·094
3·5	2·0	0·035	28·5	16·0	0·320	53·5	29·6	0·670	78·5	42·4	1·104
4·0	2·3	0·040	29·0	16·3	0·326	54·0	29·8	0·678	79·0	42·6	1·113
4·5	2·5	0·046	29·5	16·6	0·332	54·5	30·1	0·686	79·5	42·9	1·123
5·0	2·8	0·051	30·0	16·8	0·339	55·0	30·4	0·693	80·0	43·1	1·133
5·5	3·1	0·056	30·5	17·1	0·345	55·5	30·6	0·701	80·5	43·4	1·142
6·0	3·4	0·061	31·1	17·4	0·352	56·0	30·9	0·709	81·0	43·6	1·152
6·5	3·7	0·066	31·5	17·7	0·358	56·5	31·2	0·717	81·5	43·8	1·162
7·0	4·0	0·072	32·0	17·9	0·365	57·0	31·4	0·725	82·0	44·1	1·172
7·5	4·2	0·077	32·5	18·2	0·371	57·5	31·7	0·733	82·5	44·3	1·182
8·0	4·5	0·082	33·0	18·5	0·378	58·0	31·9	0·741	83·0	44·6	1·192
8·5	4·8	0·088	33·5	18·8	0·384	58·5	32·2	0·749	83·5	44·8	1·202
9 0	5·1	0·093	34·0	19·0	0·390	59·0	32·5	0·758	84·0	45·1	1·212
9·5	5·4	0·099	34·5	19·3	0·397	59·5	32·7	0·766	84·4	45·3	1·222
10·0	5·7	0·104	35·0	19·6	0·404	60·0	33·0	0·774	85·0	45·5	1·232
10·5	5·9	0·109	35·5	19·9	0·411	60·5	33·2	0·782	85·5	45·8	1·243
11·0	6·2	0·115	36·0	20·1	0·417	61·0	33·5	0·790	86·0	46·0	1·253
11·5	6·5	0·120	36·5	20·4	0·424	61·5	33·8	0·799	86·5	46·3	1·263
12·0	6·8	0·126	37·0	20·7	0·431	62·0	34·0	0·807	87·0	46·5	1·273
12·5	7·1	0·131	37·5	21·0	0·437	62·5	34·3	0·815	87·5	46·7	1·284
13·0	7·4	0·137	38·0	21·2	9·444	63·0	34·5	0·824	88·0	47·0	1·294
13·5	7·6	0·142	38·5	21·5	0·451	63·5	34·8	0 832	88·5	47·2	1·305
14·0	7·9	0·148	39·0	21·8	0·458	64·0	35·1	0·841	89·0	47·4	1·315
14·5	8·2	0·153	39·5	22·1	0·465	64·5	35·3	0·849	89·5	47·7	1·326
15·0	8·5	0·159	40·0	22·3	0·472	65·0	55·6	0·858	90·0	47·9	1·336
15·5	8·8	0·165	40·5	22·6	0·479	65·5	35·8	0·866	90·5	48·2	1·347
16·0	9·0	0·170	41·0	22·9	0·486	66·0	36·1	0·875	91·0	48·4	1·358
16·5	9·3	0·176	41·5	23·1	0·493	66·5	36·3	0·884	91·5	48·6	1·368
17·0	9·6	0·182	42·0	23·4	0·500	67·0	36·6	0·892	92·0	48·9	1·379
17·5	9·9	0·187	42·5	23·7	0·507	67·5	36·8	0·901	92·5	49·1	1·390
18·0	10·2	0·193	43·0	24·0	0·514	68·0	37·1	0·910	93·0	49·3	1·401
18·5	10·4	0·199	43·5	24·2	0·521	68·5	37·4	0·919	93·5	49·6	1·412
19·0	10·7	0·205	44·0	24·5	0·528	69·0	37·6	0·928	94·0	49·8	1·423
19 5	11·0	0·210	44·5	24·8	0·535	69·5	37·9	0·937	94·5	50·0	1·434
20·0	11·3	0·216	45·0	25·0	0·542	70·0	38·1	0·946	95·0	50·3	1·445
20·5	11·6	0·222	45·5	25·3	0·550	70·5	38·4	0·955	95·5	50·5	1·456
21·0	11·8	0·228	46·0	25·6	0·557	71·0	38·6	0·964	96·0	50·7	1·467
21·5	12·1	0·234	46·5	25·8	0·564	71·5	38·9	0·973	96·5	51·0	1·478
22·0	12·4	0·240	47·0	26·1	0·572	72·0	39·1	0·982	97·0	51·2	1·489
22·5	12·7	0·246	47·5	26·4	0·579	62·5	39·4	0·991	97·5	51·4	1·500
23·0	13·0	0·252	48·0	26·7	0·586	73·0	39·6	1·000	98·0	51·6	1·512
23·5	13·2	0·258	48·5	26·9	0·594	73·5	39·9	1·009	98·5	51·9	1·523
24·0	13·5	0·264	49·0	27·2	0·601	74·4	40·1	1·018	99·0	52·1	1·535
24·5	13·8	0·270	49·5	27·4	0·609	74·5	40·4	1·028	99·5	52·3	1·546
									100·0	53·6	1·558

Spezifisches Gewicht der Mischungen von Alkohol und Wasser und die entsprechenden Volum- und Gewichtsprozente Alkohol bei 15·5° C.

Prozente	Den Maßprozenten	Den Gewichtsprozenten	Prozente	Den Maßprozenten	Den Gewichtsprozenten	Prozente	Den Maßprozenten	Den Gewichtsprozenten
	entsprechendes spez. Gewicht bei 15·5° C			entsprechendes spez. Gewicht bei 15·5° C			entsprechendes spez. Gewicht bei 15·5° C	
1	0·9985	0·9981	35	0·9592	0·9490	68	0·8949	0·8772
2	0·9970	0·9963	36	0·9579	0·9472	69	0·8925	0·8748
3	0·9956	0·9944	37	0·9565	0·9453	70	0·8900	0·8724
4	0·9942	0·9928	38	0·9550	0·9433	71	0·8875	0·8700
5	0·9928	0·9912	39	0·9535	0·9413	72	0·8850	0·8676
6	0·9915	0·9896	40	0·9519	0·9394	73	0·8825	0·8652
7	0·9902	0·9880	41	0·9503	0·9374	74	0·8799	0·8629
8	0·9890	0·9866	42	0·9487	0·9353	75	0·8773	0·8605
9	0·9878	0·9852	43	0·9470	0·9332	76	0·8747	0·8581
10	0·9866	0·9839	44	0·9452	0·9311	77	0·8720	0·8557
11	0·9854	0·9826	45	0·9435	0·9291	78	0·8693	0·8533
12	0·9843	0·9813	46	0·9417	0·9269	79	0·8666	0·8509
13	0·9832	0·9800	47	0·9399	0·9248	80	0·8639	0·8484
14	0·9821	0·9788	48	0·9381	0·9227	81	0·8611	0·8459
15	0·9811	0·9775	49	0·9362	0·9204	82	0·8583	0·8435
16	0·9800	0·9763	50	0·9343	0·9183	83	0·8555	0·8409
17	0·9790	0·9751	51	0·9323	0·9160	84	0·8526	0·8385
18	0·9780	0·9739	52	0·9303	0·9138	85	0·8496	0·8359
19	0·9770	0·9727	53	0·9283	0·9116	86	0·8466	0·8333
20	0·9760	0·9714	54	0·9263	0·9094	87	0·8434	0·8307
21	0·9750	0·9702	55	0·9242	0·9072	88	0·8405	0·8282
22	0·9740	0·9690	56	0·9221	0·9049	89	0·8373	0·8256
23	0·9729	0·9677	57	0·9200	0·9027	90	0·8339	0·8229
24	0·9719	0·9664	58	0·9178	0·9004	91	0·8306	0·8203
25	0·9709	0·9651	59	0·9156	0·8981	92	0·8272	0·8166
26	0·9698	0·9637	60	0·9134	0·8958	93	0·8237	0·8149
27	0·9688	0·9622	61	0·9112	0·8935	94	0·8201	0·8122
28	0·9677	0·9607	62	0·9090	0·8911	95	0·8164	0·8094
29	0·9666	0·9592	63	0·9067	0·8888	96	0·8125	0·8065
30	0·9655	0·9577	64	0·9044	0·8865	97	0·8084	0·8036
31	0·9643	0·9560	65	0·9021	0·8842	98	0·8041	0·8006
32	0·9631	0·9544	66	0·8997	0·8818	99	0·7995	0·7976
33	0·9618	0·9526	67	0·8973	0·8795	100	0·7946	0·7946
34	0·9605	0·9508						

Literaturverzeichnis.

Babo, A. v., und Mach, E., Handbuch des Weinbaues und der Kellerwirtschaft. Berlin 1896.

Bary, De, Vorlesungen über Bakterien. 2. Ausgabe. 1887.

Bau, A., Über Melibiose. Chem. Ztg. 1897.

Bersch, Josef, Gärungschemie für Praktiker. 1. Teil, Hefe und Gärungserscheinungen, Berlin 1897, 4. Teil, Spiritusfabrikation und Preßhefefabrikation. Berlin 1881.

Buchner, E., Buchner, H., und Hahn, M., Die Zymasegärung. München 1903.

Burri, R., Eine einfache Methode zur Reinzüchtung von Bakterien unter mikroskopischer Kontrolle des Ausganges von der einzelnen Zelle. Zentralbl. f. Bakt. 1907 und 1908.

Cluß, A., Die Reinzuchthefe und die Anwendung der Antiseptica, speziell der Fluorverbindungen, in der Brennerei. Halle a S. 1893.

— Die Anwendung der Flußsäure zur Herstellung einer Hefe ohne Säuerung. Zeitschr. f. Spiritusindustrie. 1894.

— Die praktischen Erfolge der Arbeitsweise ohne Säuerungsprozeß mit nach Effront in Flußsäure akklimatisierter Hefe. Zeitschr. f. Spiritusindustrie.

Collette und Boidin, Der Amylomyces Rouxii und seine Verwendung in der Brennerei. Brüssel 1898.

Delbrück, M., Die Reinzuchthefe- und die Preßhefefabrikation. Zeitschr. f. Spiritusindustrie. 1889.

— Der Einfluß von Lüftung auf Hefe und Gärung und ihre Benutzung zur Vermehrung der Hefeausbeute in der Preßhefefabrikation und zur Vergärung der Dickmaischen. Zeitschr. f. Spiritusindustrie. Ergänzungsheft. 1890.

— Natürliche Hefereinzucht. Wochenschr. f. Brauerei. 1895.

— Die natürliche Reinzucht in der Praxis. Vortrag. Wochenschr. f. Brauerei. 1895.

— Max Maerckers Handbuch der Spiritusfabrikation. 9. Auflage. Berlin 1908.

Durst, O., Handbuch der Preßhefefabrikation. 2. Auflage. Berlin 1896.

Goethe, R., Bericht der königl. Lehranstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau zu Geisenheim a. Rh. (Anwendung von reingezüchteten Weinhefen bei der Obstweingärung.) Wiesbaden 1893.

Green, Reynolds J., Die Enzyme. Deutsch von W. Windisch. Berlin 1901.

Hansen, E. Chr., Über Hefe und Hefereinzucht. Vortrag in der Generalversammlung des österreichischen Brauerbundes. Graz 1887. Zeitschr. f. Brauerei- u. Malzfabrikation 1887.

— Untersuchungen aus der Praxis der Gärungsindustrie (Beiträge zur Lebensgeschichte der Mikroorganismen). München 1895.

— Grundlinien zur Systematik der Saccharomyceten. Centralbl. f. Bakt. 1904.

Hayduck, M., Einfluß der Milchsäure auf die Hefe. Zeitschr. f. Spiritusindustrie 1881 u. 1887 (Ergänzungsheft).
Henneberg, W., Zur Kenntnis der Milchsäurebakterien der Brennereimaische, der Milch, des Bieres, der Preßhefe, des Sauerkohles, der sauren Gurken und des Sauerteigs. Zeitschr. f. Spiritusindustrie 1903.
— Die Brennereihefen Rasse II und Rasse XII. Wochenschr. f. Brauerei 1903. Jahrb. d. Vereines d. deutschen Spiritusfabrikanten in Berlin 1905.
— Gärungsbakteriologisches Praktikum. Betriebsuntersuchungen und Pilzkunde. Berlin 1909.
Hotter, E., Versuche und Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Weinhefen auf die Vergärung des Apfelmostes. Versuch über den Einfluß der obergärigen Hefe und untergärigen Bierhefe auf die Vergärung des Apfelmostes. Jahresber. d. Obstbauvereines f. Mittelsteiermark f. d. Jahr 1893. Graz 1894.
— Die Verbesserung der Weine durch reingezüchtete Weinhefen. Graz 1894. Mitteilungen a. d. Pomolog. Versuchsstation. Graz 1894.
Jalowetz, E., Das Nathamsche Bierherstellungsverfahren in der Hansenabrauerei Geislautern. Brau- und Malzindustrie 1908, Sonderabdruck, Mitteilung aus dem Institut für Gärungsindustrie in Wien.
Jörgensen, Alfred, Über Reinzüchtung der Hefe. Allg. Brauer- u. Hopfenztg. 1885.
— Die Hefe in der Praxis. Berlin 1901.
— Die Mikroorganismen der Gärungsindustrie. 5. Auflage. Berlin 1909.
Kayser, E., Die Hefe. Deutsch von P. Meinecke. München 1898.
Klöcker, A., Die Gärungsorganismen in der Theorie und Praxis der Alkoholgärungsgewerbe. Stuttgart 1900.
Kohl, F. G., Die Hefepilze. Leipzig 1908.
Lafar, F., Die künstliche Säuerung des Hefengutes in Brennereien. Centralbl. f. Bakt. 1896.
— Handbuch der technischen Mykologie. In 5 Bänden. Jena 1905 bis 1907.
Lintner, P., Das Langwerden der Würze durch Dematium pullulans. Wochenschr. f. Brauerei 1888.
— Die Sarcinaorganismen der Gärungsgewerbe. Berlin 1888.
— Die Einzelkultur im hängenden Tropfen. Gealterte Zellen in frischer Würze. Abnorme Zellformen und Querwandbildungen bei Betriebshefen. Wochenschr. f. Brauerei 1893.
— Die Reinhefe in der Preßhefefabrikation und in der Kornbrennerei. Brennerei-Ztg. 13. 1896.
— Mikroskopische Betriebskontrolle in den Gärungsgewerben. 5. Auflage. Berlin 1909.
Maercker, M., Handbuch der Spiritusfabrikation. Siehe Delbrück.
Meißl, E., Die Prüfung der Hefe auf die Gärkraft. Zeitschr. f. d. ges. Brauwesen. 7. 1884.
Müller-Thurgau, H., Die Edelfäule der Trauben. Landw. Jahrbücher 1888.

Müller-Thurgau, H., Uber den Ursprung der Weinhefe. Weinbau u. Weinhandel 1889.
— Über neuere Erfahrungen bei der Anwendung von Reinhefen in der Weinbereitung. Weinbau u. Weinhandel, Mainz 1896.
— Erfahrungen bei Züchtung von Heferassen für bestimmte Zwecke. Weinbau u. Weinhandel 1897.
Nägeli, Theorie der Gärung. 1879.
Pasteur, L., Études sur la bière. 1876.
Prior, E., Reinhaltung und Reinigung von Betriebshefen. Bayr. Brauer.-Journ. 5. 1895.
Seifert, W., Über die Säureabnahme im Wein und den dabei stattfindenden Gärungsprozeß. Zeitschr. f. d. landw. Versuchswesen in Österreich 1901 u. 1903.
Thausing, J., Die Theorie und Praxis der Malzbereitung und Bierfabrikation. 6. Auflage. 1907.
Wichmann, H., Die Hefereinkultur- und Bakterienfrage. Mitteilungen der österreichischen Versuchsstation für Brauerei und Mälzerei in Wien 1888.
Wortmann, J., Einige Bemerkungen über die Vergärung von Mosten mit reingezüchteter Hefe. Weinbau u. Weinhandel 1892.
— Anwendung und Wirkung reiner Hefen in der Weinbereitung. Berlin 1895.

Alphabetisches Sachregister.

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

J.

K.

L

M.

